



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO DEL TFG: Diseño de un dron para la lectura de tarjetas RFID

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Aeronavegación

AUTOR: Joan-Carles Iglesias Sanchez

DIRECTOR: Jaime Oscar Casas Piedrafita

FECHA: 30 de mayo de 2016

Título: Diseño de un dron para la lectura de tarjetas RFID

Autor: Joan-Carles Iglesias Sanchez

Director: Jaime Oscar Casas Piedrafita

Fecha: 30 de mayo de 2016

Resumen

En este Trabajo de Final de Grado se han diseñado dos aeronaves no tripuladas (drones) para la lectura de tarjetas RFID (Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia), para una aplicación como puede ser el control de stock de una determinada empresa. El principal objetivo es que estos drones sean capaces de sobrevolar una determinada área y leer automáticamente estas tarjetas (o tags), que estarían situadas en las cajas u objetos en stock, y de enviar sus códigos correspondientes a una base terrestre, donde un ordenador pudiera procesarlos, por lo que el tiempo de lectura de stocks se reduciría considerablemente respecto al modo manual de lectura actual.

Para ello se han estudiado los antecedentes históricos, tanto de los drones como de los sistemas RFID. Además, se han analizado los conceptos básicos de electromagnetismo, para entender el funcionamiento de los sistemas de identificación por radiofrecuencia. Estos sistemas constan de varias partes, que describimos, y pueden trabajar a varias frecuencias, dependiendo del alcance que necesitemos tener para la aplicación.

Tras los conceptos teóricos, se ha definido el diagrama de bloques para cada uno de los drones. Uno de ellos es un dron comercial Parrot Bebop Drone al que le hemos introducido un sistema RFID para trabajar a 125 kHz (baja frecuencia), para un uso tanto externo como interno, mientras que el otro es un microdrone de desarrollo Crazyflie de tamaño muy reducido, ideal para uso en interiores, con un sistema RFID a 13,56 MHz (alta frecuencia). Durante el proyecto se han especificado las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, así como sus posibles aplicaciones.

Después de especificar los bloques de cada sistema, se ha realizado la elección de cada uno, teniendo en cuenta sus características y la aplicación deseada, y, finalmente, se ha procedido al montaje correspondiente y a la configuración del software.

Se ha implementado completamente el sistema de baja frecuencia, validándose con pruebas experimentales su uso y el cumplimiento de objetivos.

Título: Diseño de un dron para la lectura de tarjetas RFID

Autor: Joan-Carles Iglesias Sanchez

Director: Jaime Oscar Casas Piedrafita

Fecha: 30 de mayo de 2016

Overview

In this Final Degree Project, we have designed two unmanned aerial aircraft (drones) to read RFID tags (Radio Frequency Identification Systems), to use them in an application such as the stock control in a certain company. Our main purpose is to develop the capabilities of these drones to be able to fly above a region, read automatically these tags, which would be located in boxes or in objects in stock, and send their correspondent codes to a terrain base, where a computer should be able to process them. This process would lead to a reduction of time compared to the actual manual mode of lecture.

First of all, the historical timeline of unmanned aerial vehicles and RFID systems have been studied. Moreover, we have analysed the basic concepts of electromagnetism, in order to understand the operation of the Radio Frequency Identification Systems. These systems contain different parts, which are described, and are capable to work at different frequencies, depending on the range that we need in the application.

After these theoretical concepts, the block diagram has been defined for each of the two drones. The first one is a commercial Parrot Bebop Drone, useful to work inside and outside, in which we have introduced a RFID System that works at 125 kHz (low frequency), whilst the other one is a microdrone of development Crazyflie, with a reduced size, ideal for working indoor, and a RFID System of 13.56 MHz (high frequency). During the project, the advantages and disadvantages of each one have been exposed, as long as their possible applications.

Then, we have proceeded to the election of each of the blocks defined previously, considering their characteristics and the desired application and, finally, we have put them together to design the systems, and we have configured the software needed.

Following these steps, we have been able to develop completely the first system, the commercial drone which works at low frequency, and we have been able to verify its proper use.

Índice

1. Introducción y objetivos del proyecto.....	5
1.1 Antecedentes históricos	6
1.1.1 Código de barras	6
1.1.2 Tecnología RFID.....	7
1.1.3. Dron.....	10
2. Teoría de funcionamiento de los sistemas RFID: Electromagnetismo	13
2.1 Campo magnético.....	13
2.2. Campo magnético en espiras	14
2.3. Los principios de operación de sistemas RFID	16
2.3.1 Acople Inductivo	16
2.3.2 Acople por dispersión electromagnética.....	18
3. Características de los sistemas RFID	20
3.1. Introducción	20
3.2. Etiquetas de RFID	20
3.3. Lectores de RFID.....	21
3.4. Frecuencias utilizadas en RFID	22
3.5. Conectividad	24
4. Arquitectura de los sistemas RFID	25
4.1 Proyecto 125 kHz.....	25
4.2. Proyecto 13,56 MHz	26
5. Diseño de los sistemas	27
5.1. Sistema RFID a 125 kHz.....	27
5.1.1. Interfaz.....	27
5.1.2. Microcontrolador	30
5.1.3. Módulo de transmisión.....	33
5.1.4. Módulo de recepción	38
5.1.5. Lector RFID 125 kHz	38
5.1.6. Tarjeta (Tag) RFID.....	39
5.1.7. Dron PARROT DRONE	40

5.2 Sistema RFID a 13,56 MHz	41
5.2.1. Micro RWD MF (Mifare) Low Power Version	41
5.2.2. MAX202	43
5.2.3. Conversor serial-to-USB:	43
5.2.4. Antena: ANT-1356M	44
5.2.5. Arduino UNO MEGA	45
5.2.6. Dron: Crazyflie 2.0	46
6. Resultados experimentales	50
6.1. Primer sistema, 125 kHz	50
6.2. Segundo Sistema, 13,56 MHz	54
7. Conclusiones	56
8. Referencias	58

1. Introducción y objetivos del proyecto

RFID (Radio Frequency IDentification, o identificación por radiofrecuencia) es un término genérico en el que se incluyen todas las tecnologías que utilizan ondas de radio para la identificación automática de personas, animales u objetos. [1]

El método de identificación automática más común consiste en registrar a cada persona, animal u objeto con un número de serie único en un dispositivo denominado etiqueta o tag RFID, pudiendo estar unido a otra información relevante. Las etiquetas RFID son dispositivos pequeños que pueden ser adheridas o incorporadas fácilmente al producto o ser vivo que queramos identificar, y que contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones desde un emisor-receptor o lector RFID. Éstas pueden ser pasivas, que no requieren de alimentación eléctrica interna, semi activas o activas.

La gran ventaja que aporta la identificación por radiofrecuencia es que, además de ser inalámbrica, no requiere visión directa del elemento a identificar, como sí sucede en otras técnicas más extendidas, como el código de barras o infrarrojos. Por otra parte, tanto el lector, como el tag RFID pueden trabajar a varias frecuencias, dependiendo de la distancia a la que pretendamos realizar la lectura de los datos, que variará en función del ámbito de aplicación de los mismos.

Gracias al gran desarrollo de las nuevas tecnologías que hay en la actualidad, estos sistemas basados en la identificación por radiofrecuencia, están adquiriendo una gran importancia en multitud de sectores, como controles de stock, sistemas de seguridad o control de animales, además de suponer un gran avance de cara al desarrollo de “el internet de las cosas” y las “Smart cities”. [2]

Por otra parte, un dron o UAV, por sus siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicle, es un vehículo aéreo no tripulado, que se guía de forma remota o autónoma, y que actualmente representa una de las áreas con más proyección en el sector de la aeronáutica.

Pese a que actualmente, los drones se utilizan tanto en el ámbito militar como civil, su origen se remonta a la Segunda Guerra Mundial, donde se observó su gran potencial. No obstante, no ha sido hasta recientemente que se han empezado a desarrollar drones de uso civil, permitiendo sistemas de alta movilidad a un coste relativamente bajo.

Las extensas posibilidades de los vehículos aéreos no tripulados han provocado la aparición de multitud de empresas especializadas con una gran variedad de productos, suponiendo unos precios bastante ajustados. Gracias a esta reducción del precio del producto final, en los últimos años, los drones han pasado de estar enfocados solamente a ámbitos ingenieriles y otros clientes especializados, a un público más global y familiar. Además, actualmente, muchas empresas

especializadas en el sector se dedican a adecuar de manera óptima el producto general a la función deseada para la que vaya a ser aplicado, permitiendo, de esta manera, múltiples aplicaciones.

En este proyecto hemos unido ambas tecnologías, instalando dos sistemas RFID en dos tipos de drones con el objetivo de mejorarlas e introducirlas en ámbitos como la logística relacionada con controles de stock y mercancías. Por ello, el **objetivo** de este proyecto es diseñar un sistema completo de control de stocks por RFID embarcado en drones. En este sistema, el dron ha de ser capaz de sobrevolar las mercancías y que el lector RFID reciba la información de sus etiquetas o tags y la envíe a la computadora a remoto. De esta manera, se superarían las limitaciones actuales del RFID, que requieren que un miembro del personal se acerque con un lector a los contenedores de mercancías. Mediante el uso de drones, podría haber varios contenedores apilados hasta más altura, y se podría aumentar la velocidad y el número de veces que se realiza la supervisión, entre otras ventajas. [3]

El primer sistema RFID funciona a una frecuencia de 125 kHz (Low Frequency) y ha sido instalado sobre el dron BEBOB DRONE de PARROT. El segundo sistema, de alta frecuencia (HF) y, en consecuencia, de mayor alcance, funciona a 13,56 MHz, y decidimos montarlo sobre un mini dron CRAZYFLIE 2.0 de BITCRAZE, el cual, debido a su tamaño, se adapta mejor a espacios reducidos, pero su batería es notablemente menor. Mediante estos dos sistemas tan diferenciados hemos tratado de verificar si esta tecnología es capaz de funcionar en ambos manteniendo sus características y sus ventajas.

1.1 Antecedentes históricos

1.1.1 Código de barras

El antecedente histórico más cercano a la tecnología de RFID es el código de barras. Se ideó basándose en el funcionamiento del código Morse, y contiene información codificada a través de barras más o menos anchas, espacios y caracteres.

El código de barras fue patentado en 1952 por Silver, Johanson y Woodland en Estados Unidos [1], con el objetivo de implementarlo en el sector de los ferrocarriles, para identificar los vagones, debido a la gran cantidad de trenes que circulaban en aquella época. Se necesitaba un sistema que fuera ágil, rápido y que aguantara las inclemencias del tiempo.

No obstante, no fue hasta los años 80 cuando el código de barras (Fig. 1.1) empezó a utilizarse en otros países y a tener éxito comercial, empezándose a aplicar en los supermercados.

Actualmente el código de barras esta implementado masivamente gracias a su utilidad. Nos permite reconocer rápidamente un artículo de forma global y sin ambigüedad. Además, se logra un rápido etiquetado a bajo coste y permite realizar un seguimiento exhaustivo de los productos.



Fig. 1.1 Ejemplo de código de barras [1]

1.1.2 Tecnología RFID

La tecnología usada en RFID comenzó a desarrollarse en los años 1920 en el MIT [2] (Massachusetts Institute of Technology), pero no fue hasta la Segunda Guerra Mundial cuando empezaron a usarse los primeros sistemas de identificación por radiofrecuencia, empleándose por primera vez el radar para identificar aeronaves. De esta manera, alemanes, japoneses, americanos y británicos, eran capaces de detectar la aproximación de aviones a varias millas de distancia. Pero este radar, denominado como primario, no permitía identificar qué aeronave era y a quién pertenecía. De esta manera, este fue considerado el primer sistema RFID pasivo. Seguidamente, los británicos, en un proyecto secreto liderado por Watson-Watt, desarrollaron el radar secundario, el primer sistema activo de identificación. Cada uno de sus aviones contaba con un transmisor (transponder IFF, Identify Friend or Foe), que recibía las señales de dicho radar y enviaba una respuesta con su identificador. [3]

En las siguientes décadas las grandes potencias mundiales, como Estados Unidos, Europa y Japón, siguieron realizando avances en el campo de la identificación por radiofrecuencia, así como en los radares. De esta manera, durante los años 60 se empezaron a utilizar sistemas antirrobo en algunos comercios, que usaban esta tecnología para determinar si un artículo había sido pagado o no.

La primera patente para un tag RFiD activo con memoria reescribible se concedió a Mario W.Cardullo, en Estados Unidos en el año 1973. Ese mismo año, Charles Walton, también estadounidense, recibió la primera patente de un transpondedor pasivo usado para abrir una puerta sin utilizar llaves.

También en la década de los 70, el gobierno de los Estados Unidos desarrolló sistemas para el seguimiento de materiales nucleares y de ganado de vacuno, entre otros.

Con el paso de los años, distintas compañías empezaron a comercializar sistemas de radioidentificación de 125 kHz, conocidos como Low Frequency, que posteriormente se trasladarían al espectro de la alta frecuencia (13.65 MHz).

A principios de los 90, ingenieros de IBM desarrollaron y patentaron un sistema RFID UHF (Ultra-High Frequency), el cual sufrió un gran impulso a finales de dicha década cuando se fundó el Auto-ID Center, en el Massachusetts Institute of Technology (MIT). De aquí surgió la idea de implantar tags RFID de bajo coste en los productos para realizar su seguimiento a lo largo de la cadena de suministro. Para rebajar el coste, el tag solamente incluye el número de serie del artículo, mientras que los datos asociados a dicho número están almacenados en una base de datos accesible a través de internet.

En 2003 se creó EPC global, una empresa dedicada a comercializar lo que se denominó el Electronic Product Code (EPC), un código formado por una serie de números que identifican el fabricante, el tipo de producto y, como novedad, se incluyen unos dígitos extra que permiten identificar un artículo único. El desarrollo del EPC ha hecho que multitud de industrias, como la farmacéutica y la militar, utilicen esta tecnología para mejorar el seguimiento de bienes en sus cadenas de suministro. [5]

En las últimas décadas, la aparición del RFID subcutáneo, ha permitido la identificación de animales como perros o gatos, para rastrear su identidad fácilmente en caso de pérdida. Estos microchips pasivos se instalan entre los omóplatos del animal mediante una inyección, y contienen un número único de quince dígitos que se puede conocer mediante un lector RFID. (Tabla 1.1)

Tabla 1.1 Cronología de los sistemas de identificación por radiofrecuencia [3]

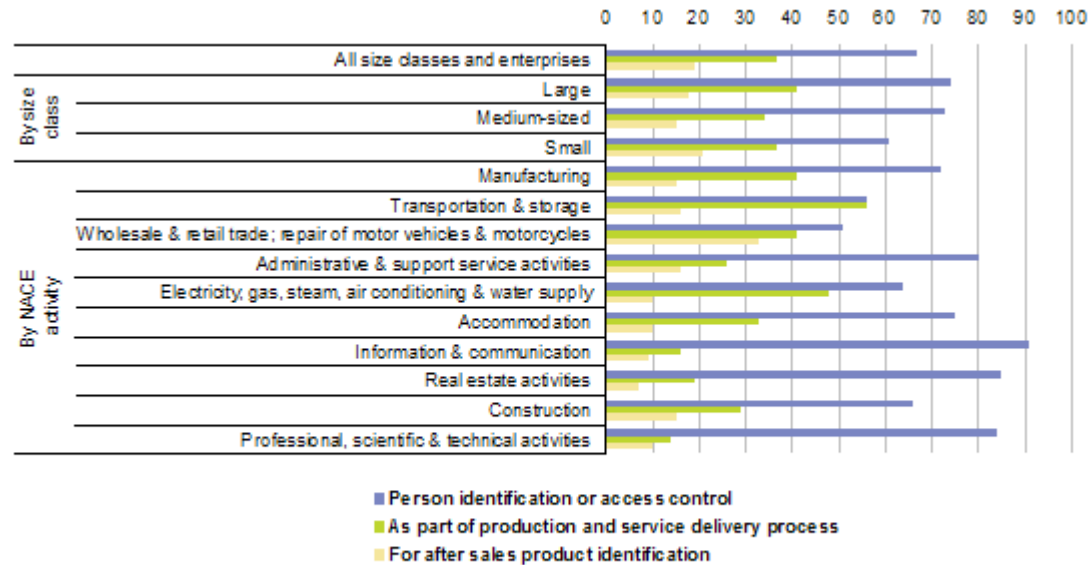
Década	Eventos
1940 – 1950	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio del uso del radar pasivo. • Desarrollo del primer radar activo (IFF, Identification Friend or Foe)
1950 – 1960	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de investigación en el campo de la identificación por radiofrecuencia. • Experimentos en laboratorios.
1960 – 1970	<ul style="list-style-type: none"> • Primeros sistemas antirrobo con RFID.
1970 – 1980	<ul style="list-style-type: none"> • Primera patente para un tag RFiD activo con memoria reescribible, concedida a Mario W.Cardullo.

	<ul style="list-style-type: none">• Primera patente de un transpondedor pasivo usado para abrir puertas, concedido a Charles Watson.• Desarrollo de sistemas para el seguimiento de material nuclear y de vacuno, por el gobierno de Estados Unidos.
1980 – 1990	<ul style="list-style-type: none">• Comercialización de sistemas RFID de baja frecuencia.
1990 – 2000	<ul style="list-style-type: none">• IBM patenta los primeros RFID de UHF (Ultra-High Frequency)
2000 – Actualidad	<ul style="list-style-type: none">• Creación del EPC• Aplicaciones innovadoras:<ul style="list-style-type: none">- Múltiples usos en las nuevas tecnologías.- Ayuda al desarrollo de las “smart cities”.- Aparición del RFID subcutáneo para animales.

En la actualidad, el RFID tiene multitud de aplicaciones, dependiendo de la frecuencia que se utilice. Tal y como veremos en apartados posteriores, los sistemas de baja frecuencia tienen poco alcance y, en consecuencia, su coste también es menor, mientras que en sistemas de alta frecuencia ocurre lo contrario.

En los últimos años se está trabajando en otras aplicaciones de la tecnología RFID, como en los peajes de las autopistas (teletac), haciendo que los conductores no tengan que detener el coche, o en algunas tarjetas de pago, en el transporte público, en las llaves de algunos automóviles, haciendo que el conductor pueda abrirlo e incluso arrancarlo sin sacar la llave del bolsillo, etc.

En la Figura 1.2 observamos el uso de esta tecnología en las empresas, distribuido por el tipo de empresa y las aplicaciones: control de acceso de personal, proceso de producción y entrega del producto y, por último, identificación del producto tras la venta. Vemos que el RFID toma mayor importancia para el fin de control de accesos en todas las empresas, excepto en aquellas dedicadas solamente al transporte y almacenamiento, en las cuales se realiza el seguimiento de dichas entregas mediante sistemas RFID, cobrando mayor importancia esta aplicación. [6]



(1) Ranked on the average use of RFID for all three purposes.

Source: Eurostat (online data code: iso_c_i_od_en2)

Fig. 1.2 Uso de los sistemas RFID en las empresas [6]

1.1.3. Dron

Los primeros vehículos aéreos no tripulados, conocidos popularmente como drones o UAVs, fueron desarrollados a hace casi un siglo, pese a que no fueron utilizados con éxito hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

En el año 1917, Charles Kettering, de General Motors, desarrolló el primer biplano no tripulado, programado previamente y accionado por un mecanismo de relojería. Este vehículo, debía plegar sus alas en el lugar programado y caer sobre el enemigo como una bomba. Gracias a la financiación del Ejército de los Estados Unidos, fueron construidos algunos de estos aparatos, pero no se llegaron a utilizar en combate. No fue hasta el 1933, con el desarrollo del UAV denominado Queen Bee, cuando se empezó a utilizar como avión-blanco por la Marina británica, controlándose remotamente desde un barco.

En 1940 llegó el primer dron producido en serie a gran escala, el radioplane OQ-2 (Fig. 1.3). Fue desarrollado por los Estados Unidos y sirvió como blanco volante para la formación de pilotos. Paralelamente, las investigaciones realizadas en la Unión Soviética, provocaron que el diseñador de aviones Nikitin desarrollara el primer dron planeador armado con un torpedo, capaz de llegar a los 700 km/h, con un alcance de 100 km. [7]



Fig.1.3 Radioplane OQ-2

Durante la Segunda Guerra Mundial se utilizaron por primera vez estas armas guiadas por radiocontrol y tras ella, las grandes potencias mundiales concibieron los misiles nucleares como su principal arma de ataque, por lo que, tras el desarrollo de aeronaves no tripuladas, había en realidad un afán por mejorar su armamento.

En las siguientes décadas, se produjeron los primeros drones de reconocimiento, tanto por parte de Estados Unidos como de la Unión Soviética. Estos eran enviados a supervisar puntos calientes, y fueron ampliamente utilizados.

En 1994 se produce el primero vuelo de un Predator, el primer UAV que usa el sistema de posicionamiento GPS, en lugar de estar programado o usar la línea de visión, que es cómo funcionaban hasta el momento. En 1998 se desarrolla el Global Hawk, un dron de gran altitud y alcance, diseñado para permanecer en el aire mucho tiempo, y pocos años después se diseña el MQ-9 Reaper (Fig 1.4), el avión no tripulado que vuela más alto y más rápido, con más de 20 metros de envergadura y capaz de alojar carga 15 veces superior a versiones anteriores. [7]



Fig.1.4 MQ-9 Reaper

Tras su amplio uso en el ámbito militar, como blancos, aeronaves de reconocimiento o de combate, se empezaron a plantear las ventajas que podían aportar las aeronaves no tripuladas en la sociedad civil. En seguida quedó demostrada su gran versatilidad, y sus costes relativamente bajos, por lo que numerosas empresas empezaron a desarrollar UAVs con una extensa variedad de finalidades (logística, investigación, cartografía, agricultura, cine, control de incendios, búsqueda y salvamento de personas, seguridad, etc). En el año 2010, la compañía española FlighTech Systems logra obtener el primer Certificado de Aeronavegabilidad Experimental de Europa para su UAV, el FT-Altea (Fig. 1.5), con 6 metros de envergadura y un peso máximo al despegue de 80kg. Este dron está equipado con numerosos sensores y cámaras térmicas y un sistema de navegación autónomo que le permite operar durante el día y la noche, con despegues y aterrizajes totalmente automáticos. [8]



Fig.1.5 FT-Altea, desarrollado por FlighTech Systems [8]

2. Teoría de funcionamiento de los sistemas RFID: Electromagnetismo

En este apartado introduciremos los principios físicos básicos de electromagnetismo relacionados con el RFID. La mayoría de los sistemas RFID operan de acuerdo con el principio de acoplamiento inductivo. Por tanto, comprender los procedimientos de transferencia de datos y alimentación requiere un conocimiento detallado de los principios físicos del magnetismo. Los campos electromagnéticos son usados por los sistemas que operan a una frecuencia entre 125 KHz y 2,4GHz. Para ayudar a entender estos sistemas hay que estudiar la propagación de las ondas en campos lejanos y los principios de la tecnología de los radares.

2.1 Campo magnético

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia funcionan gracias a la transmisión de datos mediante el uso de campos magnéticos.

Cada movimiento de carga eléctrica se asocia con un campo magnético, el cual depende de las cargas que lo crean, del punto donde se estudia y del medio donde se desarrolla el campo.

Una barra imantada o un cable que transporta corriente pueden influir en otros materiales magnéticos sin tocarlos físicamente porque estos objetos producen un campo magnético alrededor de ellos. Estos campos suelen representarse mediante 'líneas de campo magnético' o 'líneas de fuerza'. En cualquier punto, la dirección del campo es igual a la dirección de las líneas de fuerza, y su intensidad es inversamente proporcional al espacio entre las líneas. El campo magnético está definido por su dirección y sentido, y, por lo tanto, es un campo vectorial.

Para entender más en profundidad el electromagnetismo y las fórmulas principales, utilizaremos varias abreviaturas y constantes, especificadas en las tablas siguientes. (Fig. 2.1, 2.2)

Variable	Symbol	Unit	Abbreviation
Magnetic field strength	H	Ampere per meter	A/m
Magnetic flux (n = number of windings)	Φ	Volt seconds	Vs
	$\Psi = n\Phi$		
Magnetic inductance	B	Volt seconds per meter squared	Vs/m ²
Inductance	L	Henry	H
Mutual inductance	M	Henry	H
Electric field strength	E	Volts per metre	V/m
Electric current	I	Ampere	A
Electric voltage	U	Volt	V
Capacitance	C	Farad	F
Frequency	f	Hertz	Hz
Angular frequency	$\omega = 2\pi f$	1/seconds	1/s
Length	l	Metre	m
Area	A	Metre squared	m ²
Speed	v	Metres per second	m/s
Impedance	Z	Ohm	Ω
Wavelength	λ	Metre	m
Power	P	Watt	W
Power density	S	Watts per metre squared	W/m ²

Fig.2.1 Tabla de abreviaturas [9]

Constant	Symbol	Value and unit
Electric field constant	ϵ_0	8.85×10^{-12} As/Vm
Magnetic field constant	μ_0	1.257×10^{-6} Vs/Am
Speed of light	c	299 792 km/s
Boltzmann constant	k	$1.380\,662 \times 10^{-23}$ J/K

Fig.2.2 Constantes [9]

2.2. Campo magnético en espiras

Los sistemas RFID funciona gracias a una bobina formada por espiras, la cual es capaz de crear un campo magnético a partir de una corriente eléctrica.

La Ley de Biot-Savart nos permite calcular el campo magnético generado por una espira. Siendo r la distancia entre dicho elemento y un punto P, donde queremos calcular el campo, éste viene definido como se muestra en la ecuación 2.1. (Fig. 2.3)[10]

$$dB = \frac{\mu_o I dl}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

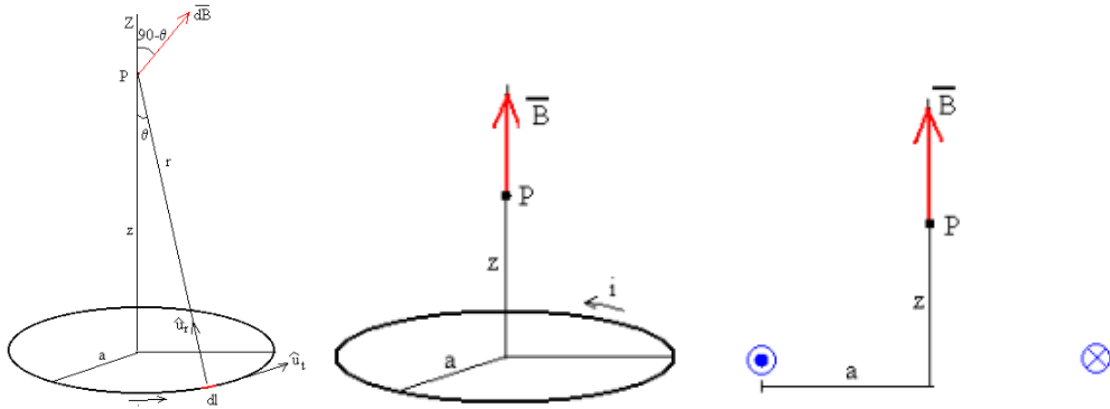


Fig.2.3 Campo magnetico [9]

Por simetría, las componentes de campo que van en dirección opuesta se anulan entre sí. Por tanto, el campo magnético resultante está dirigido a lo largo del eje, y puede calcularse realizando una integral sencilla, ya que r y θ son constantes. (Ec. 2.2)

$$B = \int dB \cos(90 - \theta) = \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} \sin\theta \oint dl = \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} 2\pi a \sin\theta = \frac{\mu_o I a^2}{2(\sqrt{z^2 + a^2})} \quad (2.2)$$

Por otro lado, la ley de inducción electromagnética de Faraday establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde. Es decir, si el campo magnético varía con el tiempo, se crea un campo eléctrico. (Ec. 2.3) [10]

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{A} \quad (2.3)$$

2.3. Los principios de operación de sistemas RFID

El funcionamiento de los sistemas RFID se divide en dos clases fundamentales en cuanto a su operación: acople inductivo y acople por dispersión electromagnética.

2.3.1 Acople Inductivo

Un transpondedor inductivamente acoplado está compuesto de los datos electrónicos que se llevan en el dispositivo, por lo general un microchip y un embobinado de área grande, que funciona como una antena.

Los transpondedores inductivamente acoplados casi siempre son manejados pasivamente. Esto quiere decir que toda la energía necesaria para la operación del microchip tiene que ser proporcionada externamente por el lector. Por esta razón, el embobinado de antena del lector genera un campo electromagnético fuerte, de alta frecuencia, que penetra el área de corte transversal del embobinado y el área alrededor de éste. Como la longitud de onda de la frecuencia usada (<135 kHz: 2400 m, 13,56 MHz: 22,1 m) es varias veces mayor que la distancia entre la antena del lector y el transpondedor, el campo electromagnético puede ser tratado como una corriente alterna (AC), teniendo en cuenta la distancia entre el transpondedor y la antena. Una pequeña parte del campo emitido penetra el embobinado de antena del transpondedor, que está a una gran distancia del embobinado del lector.

A continuación, procederemos a explicar un ejemplo posible de acople inductivo:

Por inducción, se genera un voltaje V_i en el embobinado de la antena del transpondedor. Esta tensión es rectificada y sirve como la fuente de energía para los datos que llevan el dispositivo (microchip). Un condensador C1 es conectado en paralelo con el embobinado de antena del lector, la capacitancia es seleccionada de tal forma que, con la inductancia de embobinado de antena, forme un circuito paralelo resonante, con una frecuencia de resonancia que corresponde con la frecuencia de transmisión del lector. El embobinado de antena del transpondedor y el condensador C1 forman un circuito resonante sintonizado a la frecuencia de transmisión del lector. El voltaje V en el embobinado del transpondedor alcanza un máximo debido a la resonancia del circuito paralelo LC. (Fig. 2.4) [9]

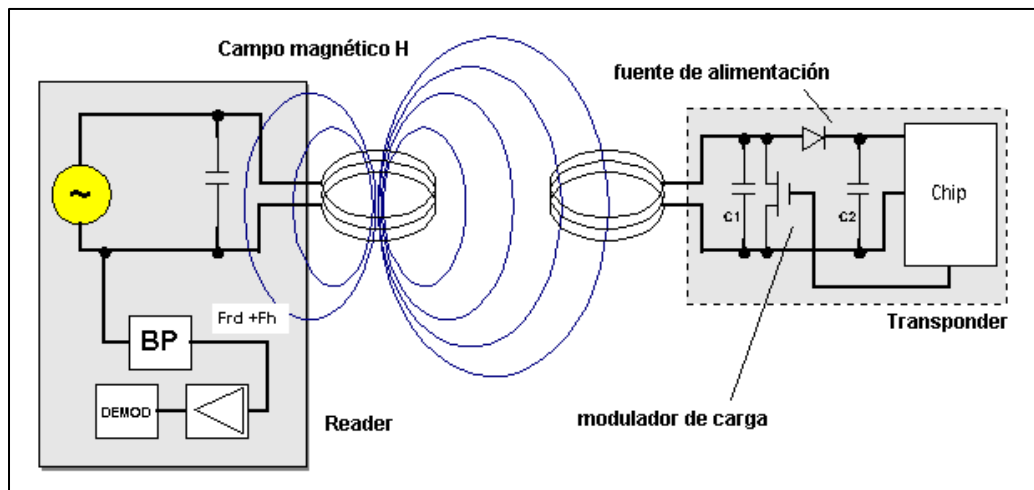


Fig.2.4 Interacción mediante acople inductivo [9]

Como se describió anteriormente, los sistemas inductivamente acoplados están basados en un tipo de transformador que se acopla entre el embobinado primario en el lector y el embobinado secundario en el transpondedor. Esto es válido cuando la distancia entre los embobinados no excede $0,16\lambda$, de modo que el transpondedor sea localizado en el campo cercano de la antena de transmisor.

Si un transpondedor resonante (la frecuencia de resonancia del transpondedor corresponde a la frecuencia de transmisión del lector) se coloca dentro de la distancia de respuesta del lector, entonces se produce la energía necesaria para polarizar el transpondedor. Este consumo de electricidad adicional puede ser medido como la caída de voltaje en la resistencia interna de la antena del lector, por la corriente de suministro a la antena del lector. (Ec. 2.4)

$$P = I_{ant} \cdot \Delta V_{Rin ant} \quad (2.4)$$

La conmutación de una resistencia de carga en la antena del transpondedor efectuará cambios de voltaje en la antena del lector y así tiene el efecto de una modulación en amplitud del voltaje de antena por el transpondedor remoto. Si la conmutación de la resistencia de carga es controlada por los datos, entonces estos datos pueden ser transferidos del transpondedor al lector. Este proceso se denomina modulación de carga.

Para adquirir los datos en el lector, el voltaje medido en la antena del lector es rectificado, lo cual representa la demodulación en amplitud de la señal.

2.3.2 Acople por dispersión electromagnética

Por la teoría de radares se sabe que las ondas electromagnéticas son reflejadas por objetos con dimensiones mayores que aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la señal.

La eficiencia con la cual un objeto refleja ondas electromagnéticas es descrita por su corte transversal de reflexión. Los objetos que están en resonancia con el frente de onda que los golpea, como en el caso de la antena en la frecuencia adecuada, por ejemplo, tienen un corte transversal de reflexión grande.

A continuación, explicaremos un ejemplo de dispersión electromagnética. (Fig. 2.5)

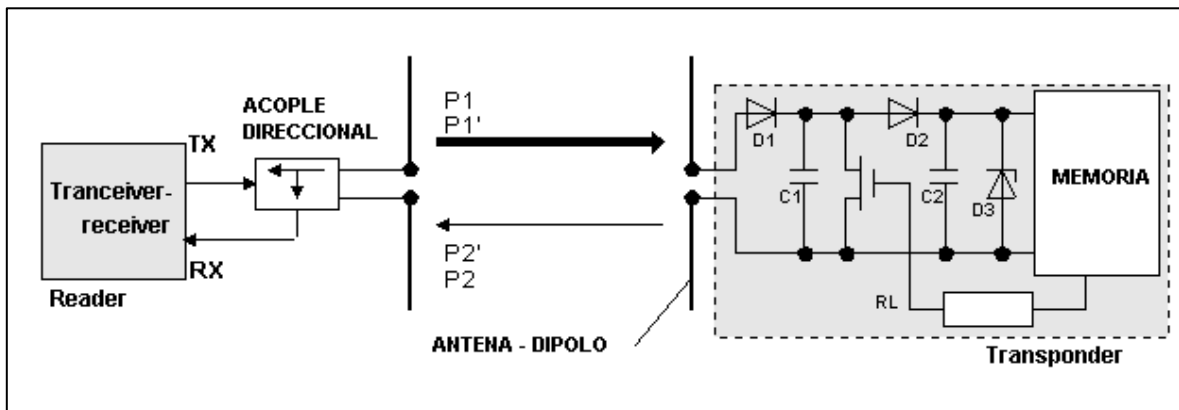


Fig.2.5 Interacción acople por dispersión electromagnética [9]

La potencia P_1 es emitida por la antena del lector, una pequeña proporción P_1' (teniendo en cuenta la atenuación espacial) alcanza la antena del transpondedor. La potencia P_1' es suministrada a la antena como un voltaje de HF y después de la rectificación por los diodos D_1 y D_2 este voltaje puede ser usado para alimentar el circuito. Una proporción de la potencia entrante P_1' es reflejada por la antena y devuelta como potencia P_2 , teniendo en cuenta, que las características de reflexión de la antena pueden estar influenciadas por el cambio de la carga conectada a ella. Para transmitir datos del transpondedor al lector, una resistencia de carga RL se conecta en paralelo con la antena y es conmutada de acuerdo con la corriente de datos para ser transmitida, la amplitud de la potencia P_2 reflejada del transpondedor es así modulada. La potencia P_2 reflejada del transpondedor es irradiada, una pequeña proporción de esta (debida a la atenuación espacial) es recibida por la antena del lector, mientras la señal reflejada por lo tanto viaja hacia la antena del lector en “contrafase” y puede ser desacoplada utilizando un acoplador direccional y transferida a la entrada de receptor del lector. [9]

Es importante remarcar que existe una relación inversa entre el tamaño de la antena y la frecuencia utilizada. El tamaño de la antena es proporcional a la longitud de onda de radio y ésta, a su vez, es inversamente proporcional a la frecuencia utilizada. Por lo tanto, a mayores frecuencias necesitamos antenas de menor tamaño. Teniendo en cuenta esto, y tal y como hemos mencionado anteriormente, a frecuencias bajas se trabajará con acople inductivo, mientras que, a frecuencias altas, con dispersión electromagnética.

3. Características de los sistemas RFID

3.1. Introducción

Para empezar a comprender el funcionamiento de los sistemas de identificación por radiofrecuencia, en primer lugar, deberemos conocer las tres partes que forman dichos sistemas: [11]

1. El tag, etiqueta o transponder de RFID consiste en un pequeño circuito con una antena integrada, capaz de transmitir un número de serie único hacia un dispositivo de lectura como respuesta a una petición. Algunas veces puede incluir una batería.
2. El lector, que puede ser de lectura o de lectura y escritura, está compuesto por una antena, un módulo electrónico de radiofrecuencia y un módulo electrónico de control.
3. Un controlador o un equipo anfitrión, comúnmente un ordenador o Workstation. Este controlador contiene una base de datos de RFID y un software de control.

3.2. Etiquetas de RFID

Por otro lado, la tecnología de identificación por radiofrecuencia puede ser dividida principalmente en tres categorías, según como se alimentan las etiquetas o tags RFID: [11] [12]

1. Sistemas pasivos, en los cuales las etiquetas de RFID no cuentan con una fuente de potencia. Su antena recibe la señal de radiofrecuencia enviada por el lector y almacena esta energía en un capacitor. La etiqueta la utiliza para habilitar su circuito lógico y para regresar una señal al lector. Estas etiquetas pueden llegar a ser muy económicas y pequeñas, pero su rango de lectura es muy limitado.
2. Sistemas activos. Utilizan etiquetas con fuentes de potencia integradas, como baterías. Este tipo de etiquetas integra una electrónica más sofisticada, lo que incrementa su capacidad de almacenamiento de datos, interfaces con sensores, funciones especializadas, además de que permiten que exista una mayor distancia entre lector y etiqueta (20m a 100m). Este tipo de etiquetas son más costosas y tienen un mayor tamaño. Pueden permanecer apagadas hasta que se encuentran dentro del rango de algún lector, o pueden estar haciendo broadcast constantemente.

3. Sistemas semi-activos. Emplean etiquetas que tienen una fuente de poder integrada, la cual energiza al tag para su operación, sin embargo, para transmitir datos, una etiqueta semi-activa utiliza la potencia emitida por el lector. En este tipo de sistemas, el lector siempre inicia la comunicación. Su principal ventaja es que, al no necesitar la señal del lector para energizarse, a diferencia de las etiquetas pasivas, pueden ser leídas a mayores distancias. Además, como no necesita tiempo para energizarse, el lector puede identificarlas adecuadamente en un tiempo substancialmente menor. Esto permite obtener lecturas positivas de objetos moviéndose a altas velocidades.

Adicionalmente, tanto los tags activos como los pasivos pueden ser clasificados de la siguiente forma: [12]

- Dispositivos de Solo Lectura (RO). En estos dispositivos, los datos son grabados en el tag durante su fabricación. Para ello, los fusibles en el microchip del tag son quemados permanentemente utilizando un haz láser muy fino, por lo que los datos no podrán ser reescritos. Este tipo de tecnología se utiliza en pequeñas aplicaciones, pero resulta poco práctico para la mayoría, debido a que no aprovecha todo el potencial que aporta el RFID.
- Una Escritura, Muchas Lecturas (WORM). Un tag tipo WORM, puede ser programado sólo una vez, pero esta escritura generalmente no es realizada por el fabricante sino por el usuario justo en el momento en que el tag es creado. Este tipo de etiquetas pueden utilizarse en conjunto con las impresoras de RFID, las cuales escriben en ellas la información requerida.
- Lectura y Escritura (RW). Estas etiquetas, pueden ser reprogramadas repetidamente, normalmente entre 10,000 y 100,000 veces, aunque hay tags que pueden ser reprogramados en aún más ocasiones. Esta opción de reescritura ofrece muchas ventajas, ya que el tag puede ser escrito por el lector, e inclusive por sí mismo en el caso de sea activo. Estas etiquetas regularmente contienen una memoria Flash o FRAM para almacenar los datos.

3.3. Lectores de RFID

El lector de RFID es un dispositivo que puede leer y escribir datos hacia tags RFID compatibles. El lector es el componente central del hardware en un sistema de RFID y consta de los siguientes componentes: [11] [12]

- **Transmisor.** Emite potencia y envía el ciclo de reloj a través de su antena hacia las etiquetas que se encuentran dentro de su rango de lectura.

- **Receptor.** Este componente recibe las señales analógicas provenientes del tag a través de la antena y envía estos datos al microprocesador, donde esta información es convertida a su equivalente digital.
- **Antena.** Va conectada directamente al transmisor y al receptor. Existen lectores con múltiples puertos para antenas, lo que les permite tener múltiples de ellas para lograr extender su cobertura.
- **Microprocesador.** Este componente es responsable de implementar el protocolo de lectura empleado para comunicarse con tags compatibles. Decodifica las señales recibidas e identifica los posibles errores. Adicionalmente, puede contener cierta lógica para realizar filtrado y procesamiento de bajo nivel de los datos leídos, es decir, elimina lecturas duplicadas o erróneas.
- **Memoria.** La memoria es utilizada para almacenar información como los parámetros de configuración del lector, además de una lista de las últimas lecturas realizadas, de modo que, si se pierde la comunicación con el PC, no se pierdan todos los datos.
- **Canales de Entrada/Salida.** Estos canales permiten al lector interactuar con sensores y actuadores externos. Este componente es opcional, pero está incluido en la mayoría de los lectores comerciales de la actualidad.
- **Controlador.** El controlador es el componente que permite a una entidad externa, sea un humano o un software de computadora, comunicarse y controlar las funciones del lector. Comúnmente los fabricantes integran este componente como un firmware.
- **Interfaz de Comunicación.** Esta interfaz provee las instrucciones de comunicación que permiten la interacción con entidades externas, mediante el controlador, para transferir datos y recibir comandos. Un lector puede tener distintos tipos de interfaz, como se discute más adelante, por ejemplo: RS-232, RS-485, interfaz de red, entre otras.
- **Fuente de Alimentación.** Este componente provee de alimentación eléctrica a los componentes del lector y usualmente consiste en un cable con un adaptador de voltaje, conectado hacia la toma de corriente. No obstante, en los últimos años se han incrementado el número de lectores de tipo pistola, los cuales son móviles, y su fuente de alimentación es una batería recargable.

3.4. Frecuencias utilizadas en RFID

Las frecuencias utilizadas en los sistemas de identificación por radiofrecuencia se pueden dividir en cuatro rangos. Es importante conocer la aplicación de nuestro sistema para decidir qué frecuencia utilizaremos, ya que cada una ofrece diferentes características. (Fig. 3.1) [12]

1. **Baja Frecuencia** (9-135 KHz, en concreto para RFID, 125 kHz). Los sistemas que utilizan este rango de frecuencia tienen la desventaja de una distancia de lectura de sólo unos cuantos centímetros. Sólo pueden leer un elemento a la vez. Suelen ser utilizados para leer o escribir objetos con alto contenido en agua, como la fruta o animales, en aplicaciones como el control de acceso o control de animales.
2. **Alta Frecuencia** (13,56 MHz). Esta frecuencia tiene mejor rendimiento en objetos metálicos o semimetálicos y en objetos con un contenido en agua medio. El alcance máximo es mayor que con la baja frecuencia, llegando a más de un metro de rango en condiciones óptimas. Sus aplicaciones típicas son rastreo de libros, flujos de pacientes o tickets de metro. Es la frecuencia más utilizada, y suele usarse con etiquetas pasivas.
3. **Ultra High Frequency** (860 MHz-2.4GHz). Este rango se utiliza para tener una mayor distancia entre la etiqueta y el lector (de hasta 4 metros, dependiendo del fabricante y del ambiente). Estas frecuencias no pueden penetrar el metal ni los líquidos a diferencia de las bajas frecuencias, debido a que tienen una longitud de onda muy corta, pero pueden transmitir a mayor velocidad y por lo tanto son útiles para leer más de una etiqueta a la vez. Se suelen utilizar, por ejemplo, en controles de acceso a aparcamientos o para controlar líneas de montaje.
4. **Microondas** (2.45-5.8GHz). La ventaja de utilizar un intervalo tan amplio de frecuencias es su resistencia a los fuertes campos electromagnéticos, producidos por motores eléctricos. Por lo tanto, estos sistemas son utilizados en líneas de producción de automóviles. Sin embargo, estas etiquetas requieren de mayor potencia y son más costosas, pero es posible lograr lecturas a distancias de hasta 6 metros. Los sistemas RFID que funcionan por microondas empezaron a usarse recientemente y no son muy comunes.

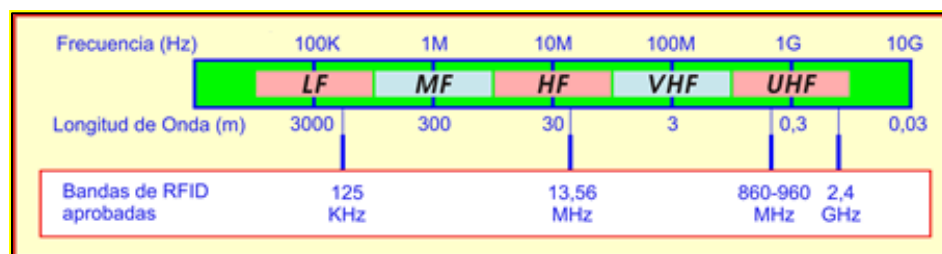


Fig.3.1 Frecuencias existentes del RFID.

Para nuestro proyecto decidimos trabajar en los rangos de la baja y la alta frecuencia con el objetivo de evaluar las ventajas de cada una, y ver las diferencias sustanciales.

3.5. Conectividad

Cuando se desarrolla un sistema de RFID la elección de la conectividad de red para los lectores de RFID, es un factor importante a tener en cuenta. [12]

Históricamente los lectores de RFID han tendido a usar comunicaciones en serie, ya sea RS-232 o RS-485. Actualmente la mayoría de los fabricantes intenta habilitar Ethernet en sus lectores e inclusive conectividad WI-FI 802.11.

Por tanto, las principales vías de comunicación del RFID son:

- RS-232. Este protocolo provee sistemas de comunicación fiables de corto alcance. Tiene ciertas limitaciones como una baja velocidad de comunicación, que va de 9600 bps a 115.2 kbps. La longitud del cable está limitada a 30 metros, no cuenta con un control de errores y su comunicación es punto a punto.
- RS-485. El protocolo RS-485 es una mejora sobre RS-232, ya que permite el uso de cables de hasta 1200 metros. Alcanza velocidades de 2.5 Mbps, que se ve reducida cuanto más largo es el cable, y es un protocolo de tipo bus, lo cual permite a múltiples dispositivos estar conectados al mismo tiempo.
- Ethernet. Se considera como una buena opción, ya que su velocidad es más que suficiente para los lectores de RFID. La fiabilidad del protocolo TCP/IP sobre Ethernet asegura la integridad de los datos enviados y, finalmente, al ser la infraestructura común para las redes, la mayoría de las instituciones ya cuentan con una red de este tipo, lo que permite una instalación más sencilla y menos costes de integración.
- Wireless 802.11: Se utiliza en la actualidad en los lectores de RFID móviles. Esta solución reduce los requerimientos de cables y, en consecuencia, los costes.
- USB: Dada la creciente desaparición del puerto serie en la mayoría de aparatos, algunos fabricantes de lectores RFID han habilitado sus equipos para USB. Incluso, gracias a los avances tecnológicos se baraja adaptar los dispositivos para mandar datos a través de los datos móviles.

4. Arquitectura de los sistemas RFID

4.1 Proyecto 125 kHz

En este apartado se detalla el diagrama de bloques correspondiente al primer proyecto que hemos diseñado, que coinciden con los bloques descritos en los apartados teóricos. (Fig. 4.1)

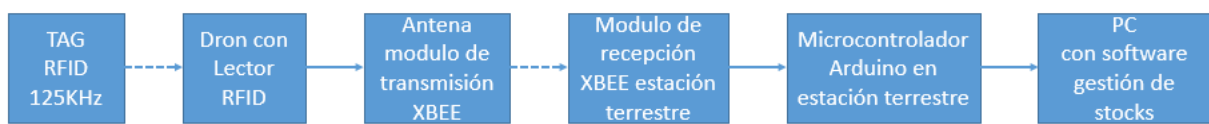


Fig.4.1 Diagrama de bloques correspondiente al primer proyecto

Se trata de un proyecto de solo lectura a una frecuencia estándar del RFID como es 125 kHz, correspondiente al rango de la baja frecuencia.

Como se puede observar en el diagrama, el dron, mediante el lector, detecta y identifica el TAG RFID que se encuentra en un objeto determinado. Este lo transmite a la placa Arduino del dron, en el cual se encuentra el módulo XBEE acoplado. Mediante conexión inalámbrica, el código RFID se transmite al módulo de recepción, situado en la estación terrestre, para finalmente llegar al software de gestión de stocks mediante un puerto serie.

Es un diagrama de bloques lineal que puede ir solo en un sentido, en contraposición al del proyecto de 13,56MHz que es bidireccional.

En el siguiente capítulo explicaremos qué es cada módulo, contemplaremos las diferentes opciones a escoger y, finalmente, explicaremos por cuál de ellas nos hemos decantado.

4.2. Proyecto 13,56 MHz

Seguidamente, detallaremos los diferentes bloques del segundo proyecto. (Fig. 4.2)

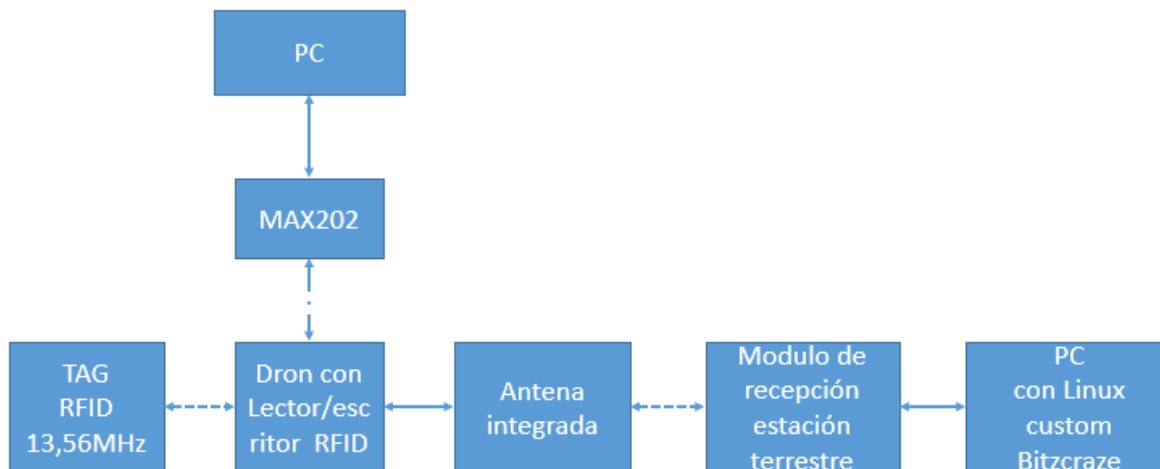


Fig.4.2 Diagrama de bloques correspondiente al segundo proyecto

Este proyecto es un sistema complejo de lectura y escritura a una frecuencia mayor que el primer sistema, concretamente, de 13,56 MHz. Las diferencias principales radican en el cambio de solo lectura a lectura/escritura y el hecho de realizarlo en un dron más pequeño y plenamente programable, con mejor adaptabilidad a interiores.

El dron se controla a través de un software propio de Bitcraze, una maquina virtual tipo Linux con los programas necesarios previamente configurados. Añadimos el MAX202 como método para interactuar con el lector/escritor a través de un puerto serie, como detallaremos más adelante.

La descripción de cada módulo se detallará en el siguiente capítulo.

5. Diseño de los sistemas

5.1. Sistema RFID a 125 kHz

5.1.1. Interfaz

En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo". [13]

La interfaz de usuario / interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. Para que una interfaz hombre-máquina (HMI) sea útil y significativa para el usuario, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades.

Existen diferentes tipos de interfaz que detallaremos a continuación: [14]

- Una interfaz de hardware, a nivel de los dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar los datos: teclado, ratón y pantalla de visualización.
- Una interfaz de software, destinada a entregar información acerca de los procesos y herramientas de control, a través de lo que el usuario observa habitualmente en la pantalla.
- Una interfaz de software-hardware, que establece un puente entre la máquina y las personas, permite a la máquina entender la instrucción y al hombre entender el código binario traducido a información legible.

En nuestro caso, para ambos proyectos, hemos decidido usar una interfaz de tipo software que pueda ser usada en cualquier tipo de ordenador con una licencia de Labview.

Hemos creado la interfaz a partir del Labview (versión 2013, 13.0). Con ella, hemos realizado un programa simple de lectura de datos. Este software recoge los datos recibidos del microcontrolador mediante Arduino y, si reconoce el Tag de las tarjetas RFID, enciende el LED correspondiente en la pantalla. Más adelante, en la fase experimental, explicaremos con más detalle el software utilizado.

Para describir los pasos que hemos seguido para realizar la interfaz con Labview, nos centraremos, para empezar, en el diagrama de bloques. Tal y como podemos ver en las capturas, lo hemos estructurado de la siguiente manera: (Fig. 5.1, 5.2)

1. Se capta la frecuencia introducida por el usuario en la interfaz, cosa que nos llevará a un procedimiento u otro.

2. Una vez se ha seleccionado el camino a seguir, utilizamos la función VISA SERIAL, con el objetivo de recoger los datos que entran por el puerto serie. En nuestro caso, el USB.
3. En tercer lugar, se entra en una *Case Structure*, donde introduciremos el número de bits de lectura y nos devolverá el código capturado por el puerto serie. Este aparecerá en la interfaz del usuario, en la pantalla *Response*, tal y como veremos a continuación.
4. Tras capturar el código, conformado por una sucesión de números y letras, procederemos a identificarlo. Para hacerlo, hemos realizado un programa que:
 - a. Extrae los valores numéricos del código.
 - b. Suma dichos valores.
 - c. Compara el número obtenido con el valor que hemos calculado previamente para cada código. La pestaña superior indica con cuál de los cinco tags registrados previamente lo está comparando.
 - d. Enciende el LED correspondiente a dicho código en la Interfaz de usuario.

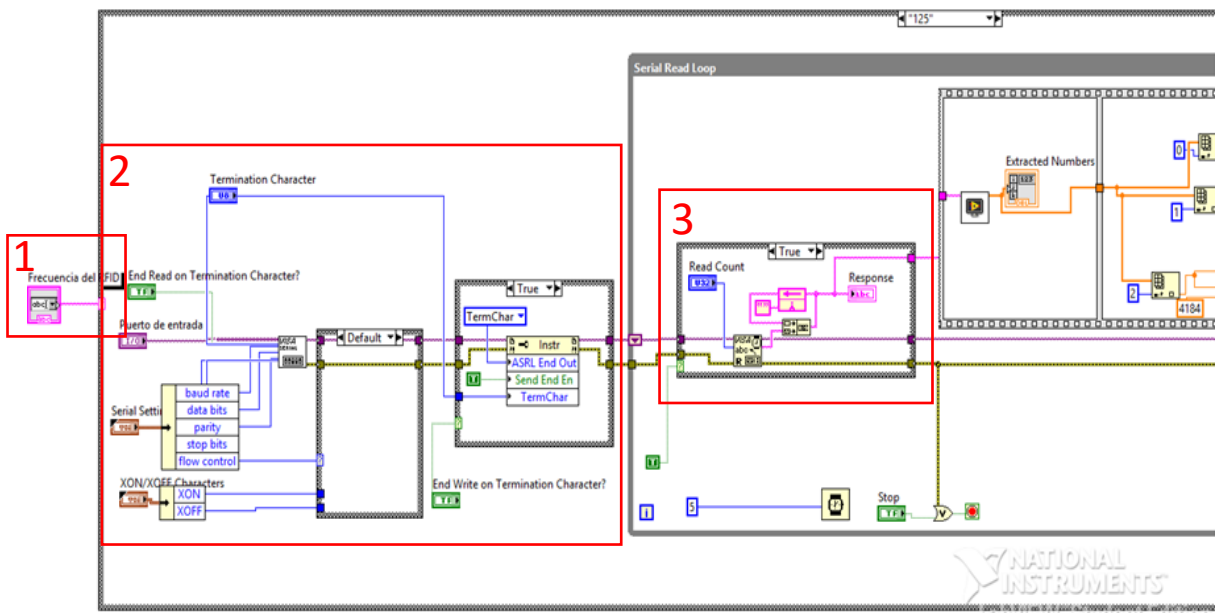


Fig.5.1 Primera parte diagrama de bloques

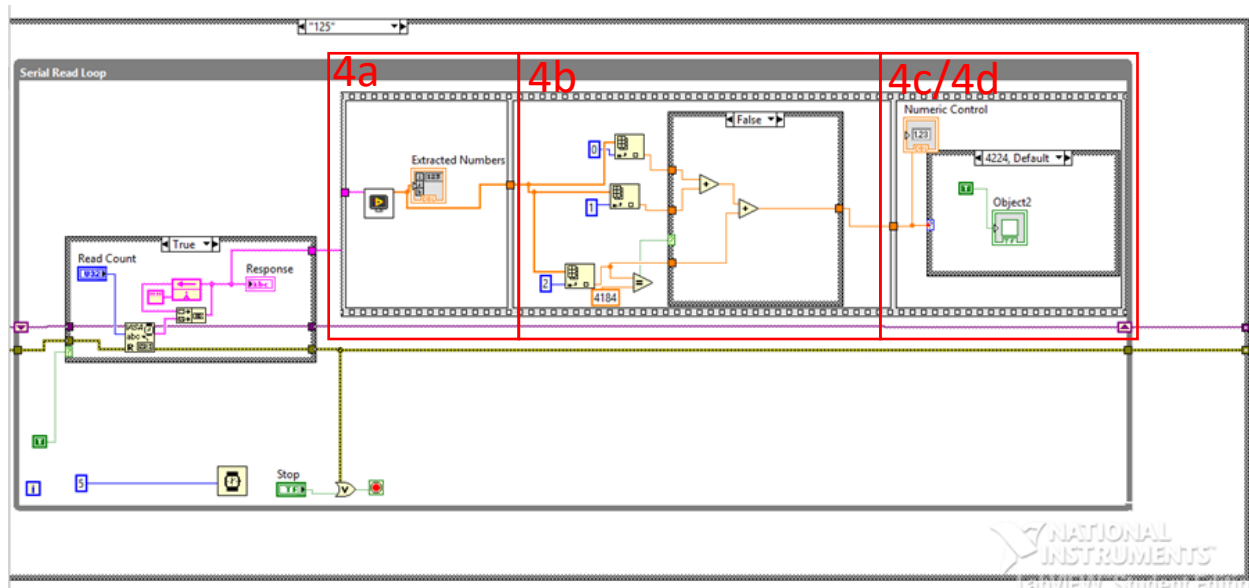


Fig.5.2 Segunda parte del diagrama de bloques

A continuación, encontramos la interfaz que vería el usuario, que está definida por el diagrama de bloques anterior. (Fig. 5.3)

1. En primer lugar, en la pestaña superior (*Frecuencia RFID*), el usuario debe especificar con cuál de los dos sistemas trabajaremos, seleccionando su frecuencia de trabajo (125 kHz para el primer sistema o 13,56 MHz para el segundo).
2. Justo debajo de esta pestaña, se procede a la elección del puerto de entrada para conectar el Arduino receptor.
3. A la derecha, introducimos el número de bits que queremos captar, es decir, el número de veces que realiza la lectura. Al iniciar el Labview en bucle, este apartado no es importante.
4. Debajo de estas funcionalidades, en el recuadro *Response*, aparecerá el código en serie que lee el lector, procedente del tag RFID.
5. A la derecha, tenemos cinco LEDs, asociados cada uno a un tag pasivo con un código serie concreto. Recordamos que, en nuestro caso, los tags pasivos no son programables, y vienen con el código serie de fábrica. Hemos simulado que cada tag corresponde a un libro en una biblioteca.
6. Por último, tenemos un botón de *STOP*, para detener la lectura.

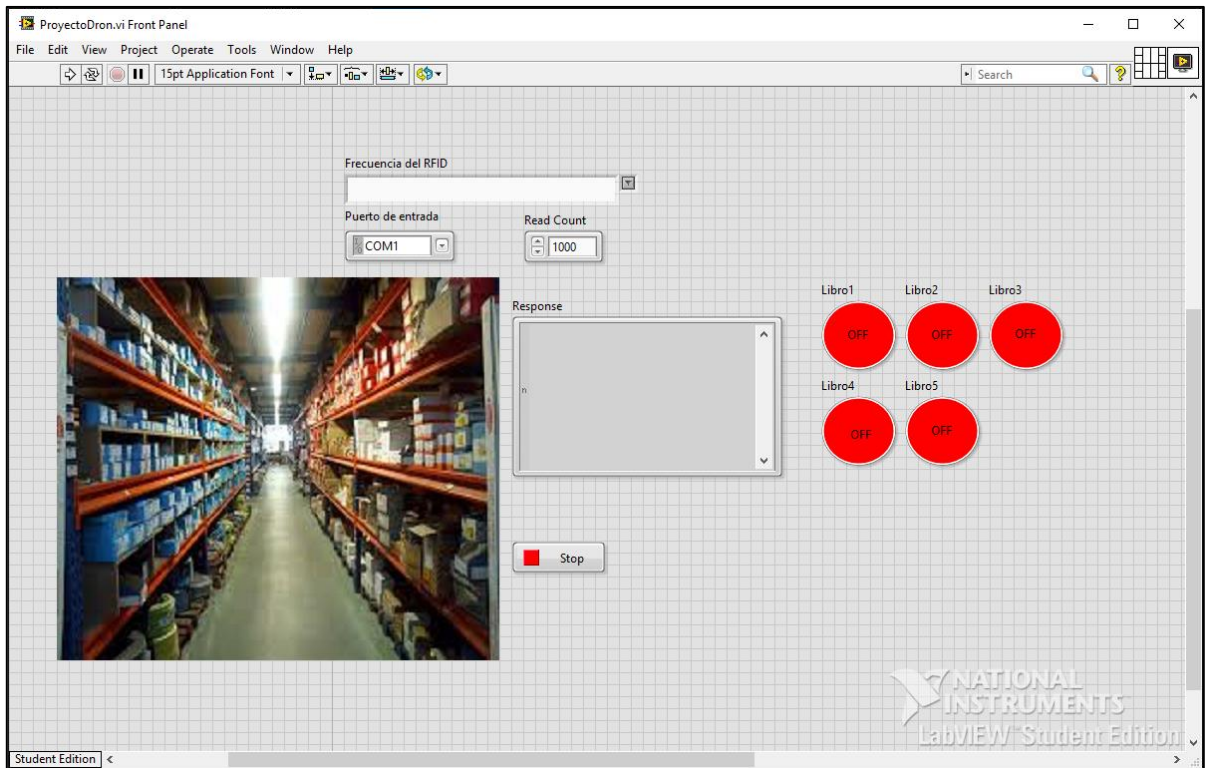


Fig.5.3 Panel frontal del labview

5.1.2. Microcontrolador

En nuestro caso, el microcontrolador utilizado es un Arduino tipo DUELMILANOVE (Fig. 5.4). Nos decantamos por un Arduino debido a su bajo coste, la gran capacidad de implementación y a su amplia bibliografía existente.

El Arduino Duemilanove (2009) es una placa con microcontrolador basada en el ATmega328. Tiene 14 pins con entradas/salidas digitales (6 de las cuales pueden ser usadas como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal oscilador a 16Mhz, conexión USB, entrada de alimentación, una cabecera ISCP, y un botón de reseteo.

El Arduino Duemilanove puede ser alimentado vía la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El origen de la alimentación se selecciona automáticamente.

Las fuentes de alimentación externas (no-USB) pueden ser tanto un transformador como una batería. El transformador se conecta mediante un conector macho de 2.1mm con centro positivo, en el conector hembra de la placa. Los cables de la batería pueden conectarse a los pins GND y V_{in} en los conectores de alimentación (POWER).

La placa es capaz de trabajar con una alimentación externa de entre 6 a 20 voltios. Si el voltaje suministrado es inferior a 7V, el pin de 5V puede proporcionar menos tensión y la placa puede volverse inestable. Por contra, si se usan más de 12V, los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar y dañar la placa. Por tanto, el rango de voltaje recomendado para la alimentación externa es de 7 a 12 voltios.

En el caso de las comunicaciones, el Arduino Duemilanove es capaz de transmitir datos con el ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. El ATmega328 proporciona comunicación vía serie UART TTL (5V), disponible a través de los pins digitales 0(RX) y 1(TX). Un chip FTDI FT232RL integrado en la placa canaliza esta comunicación serie a través del USB, y los drivers FTDI (incluidos en el software de Arduino) proporcionan un puerto serie virtual en el ordenador. El software incluye un monitor de puerto serie que permite enviar y recibir información textual de la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa parpadearan cuando se detecte comunicación transmitida través del chip FTDI y la conexión USB (no parpadearan si se usa la comunicación serie a través de los pines 0 y 1).

La longitud y amplitud máxima de la placa Duemilanove es de 2.7 y 2.1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y la conexión de alimentación sobresaliendo de estas dimensiones. Tiene tres agujeros para fijarla con tornillos, cosa que permite colocar la placa en superficies y cajas. [14] [15]

En el caso de la programación, utilizamos un código sencillo distribuido por los fabricantes del lector RFID, con unas ligeras modificaciones, como las especificaciones de los pins de entrada/salida. Dicho código se encuentra a continuación:

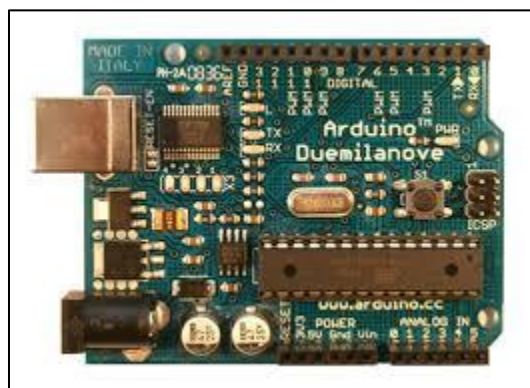


Fig.5.4 Arduino Duemilanove

A continuación, se muestra el código introducido en la placa Arduino, el cual recibe los datos que lee el lector RFID y los retransmite por los pins 9 y 10 de la placa. Este código ha sido obtenido directamente de la página de Parallax, el fabricante del lector RFID. Inicializamos el puerto serie y le definimos los pins de transmisión y recepción y la cantidad de bits que queremos. Esto es totalmente adaptable a la configuración que necesitemos.

```
// include the SoftwareSerial library so we can use it to talk to the RFID Reader
#include <SoftwareSerial.h>
#define enablePin 9 // Connects to the RFID's ENABLE pin
#define rxPin 10 // Serial input (connects to the RFID's SOUT pin)
#define txPin 11 // Serial output (unused)
#define BUFSIZE 11 // Size of receive buffer (in bytes) (10-byte unique ID + null character)
#define RFID_START 0x0A // RFID Reader Start and Stop bytes
#define RFID_STOP 0x0D

// set up a new serial port
SoftwareSerial rfidSerial = SoftwareSerial(rxPin, txPin);
void setup() // Set up code called once on start-up
{
  // define pin modes
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  pinMode(rxPin, INPUT);
  digitalWrite(enablePin, HIGH); // disable RFID Reader
  // setup Arduino Serial Monitor
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial); // wait until ready
  Serial.println("\n\nParallax RFID Card Reader");
  // set the baud rate for the SoftwareSerial port
  rfidSerial.begin(2400);
  Serial.flush(); // wait for all bytes to be transmitted to the Serial Monitor
}

void loop() // Main code, to run repeatedly
{
  digitalWrite(enablePin, LOW); // enable the RFID Reader
  // Wait for a response from the RFID Reader
  // See Arduino readBytesUntil() as an alternative solution to read data from the reader
  char rfidData[BUFSIZE]; // Buffer for incoming data
  char offset = 0; // Offset into buffer
  rfidData[0] = 0; // Clear the buffer
```

```
while(1)
{
  if (rfidSerial.available() > 0) // If there are any bytes available to read, then the RFID Reader
  has probably seen a valid tag
  {
    rfidData[offset] = rfidSerial.read(); // Get the byte and store it in our buffer
    if (rfidData[offset] == RFID_START) // If we receive the start byte from the RFID Reader,
    then get ready to receive the tag's unique ID
    {
      offset = -1; // Clear offset (will be incremented back to 0 at the end of the loop)
    }
    else if (rfidData[offset] == RFID_STOP) // If we receive the stop byte from the RFID Reader,
    then the tag's entire unique ID has been sent
    {
      rfidData[offset] = 0; // Null terminate the string of bytes we just received
      break; // Break out of the loop
    }
    offset++; // Increment offset into array
    if (offset >= BUFSIZE) offset = 0; // If the incoming data string is longer than our buffer, wrap
    around to avoid going out-of-bounds
  }
  Serial.println(rfidData); // The rfidData string should now contain the tag's unique ID with a
  null termination, so display it on the Serial Monitor
  Serial.flush(); // Wait for all bytes to be transmitted to the Serial Monitor
}
```

5.1.3. Módulo de transmisión

Escogemos un módulo XBEE-PRO (Fig. 5.5), ya que su adaptabilidad a Arduino nos permite crear un sistema de comunicación sencillo. Junto con Arduino forma un XBEE Shield (Fig. 5.6) y con una configuración básica a través del X-CTU (Fase experimental).

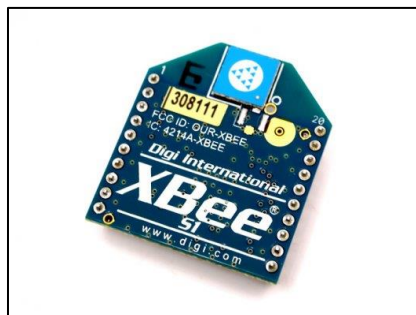


Fig.5.5 XBEE

El XBEE S1 trabaja a una frecuencia de 2,4 GHz, con un rango de unos 100 metros con línea de visión.

Para configurar ambos XBEE, tanto el que envía como el que recibe, hemos usado el software X-CTU, provisto por el propio fabricante. Este software nos permite configurar todas las propiedades según las necesidades del sistema; desde la velocidad de transmisión hasta el número de bits, bits de control etc. Estos valores dependen de la cantidad de datos a enviar, de la distancia de transmisión y de la tolerancia al error. (Fase experimental)

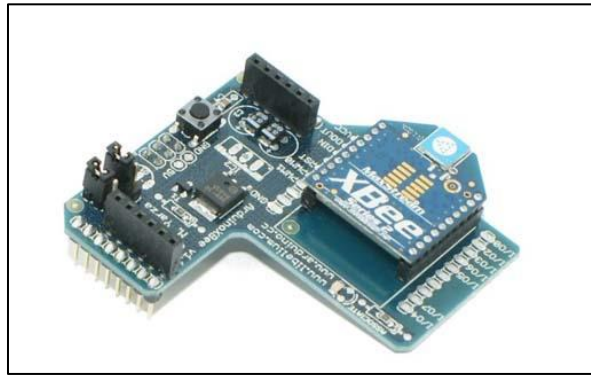


Fig.5.6 XBEE-Shield

Seguidamente, hemos configurado el X-CTU, el software que determina el funcionamiento del módulo de transmisión X-BEE.

El X-CTU es una aplicación multiplataforma diseñada para interactuar con módulos de radiofrecuencia, como el X-BEE, mediante un interfaz simple. Nos permite configurarlos y realizar pruebas, y muchas otras opciones que un desarrollador pueda necesitar.

Una vez instalada la aplicación, la abrimos y podremos ver la pantalla principal, tal y como se muestra en la figura 5.7. Observamos que la interfaz del usuario se divide en dos partes. La izquierda nos muestra los módulos RFID y, al seleccionar alguno de ellos, su configuración y sus características aparecerán en la parte derecha.

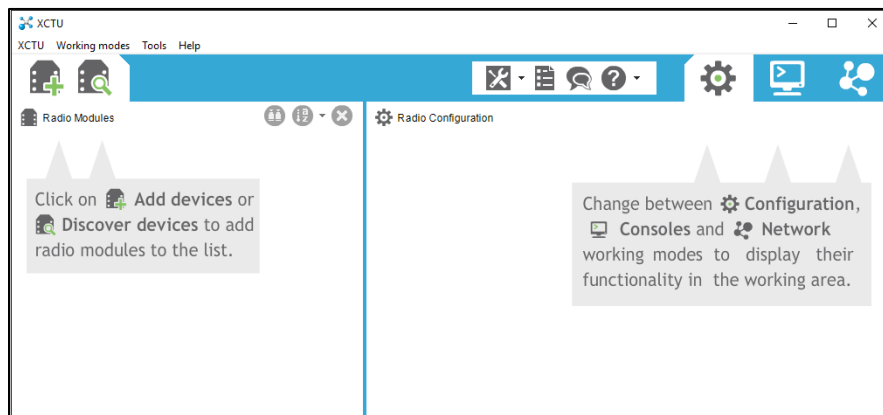


Fig.5.7 Página principal software X-CTU

Una vez distinguidas las partes del programa, procedemos a configurar nuestro módulo RFID.

1. En primer lugar, y para añadir nuestro módulo al programa, lo conectamos al ordenador y pulsamos el botón con el símbolo “+”.
2. Se abrirá una ventana “Add radio device”. En ella, especificamos los datos de nuestro XBEE tales como el puerto de entrada, la cantidad de bits, los baudios, etc. Estos datos solo los podemos introducir cuando conocemos las características del módulo. (Fig. 5.8)

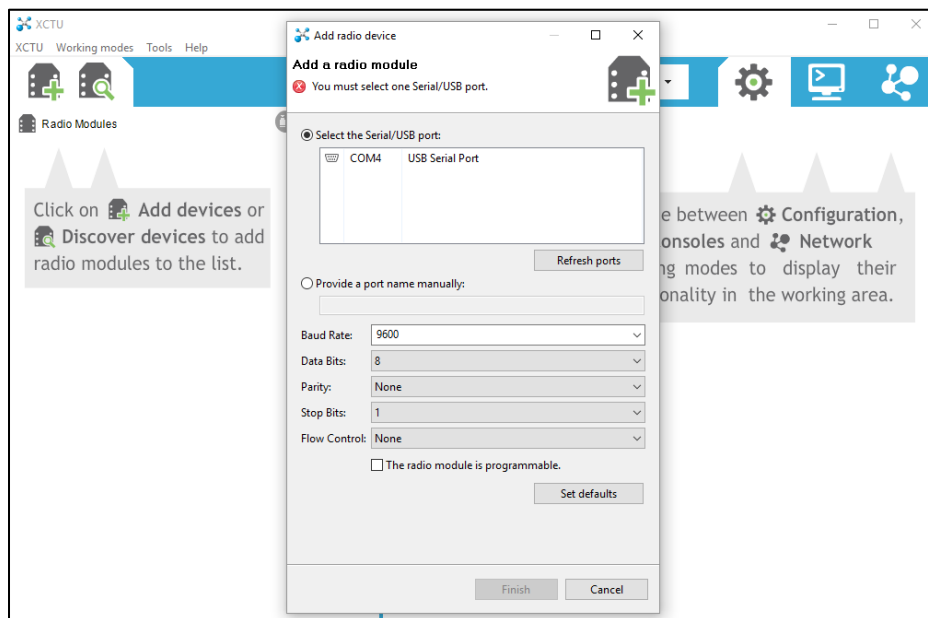


Fig.5.8 Función añadir RFID

3. En el caso de que no conozcamos las características demandadas anteriormente, debemos pulsar el botón en que aparece una lupa. Dicha función realiza un barrido por las diferentes combinaciones que seleccionemos. Cuantas más opciones de búsqueda pongamos, más tiempo tardará el programa en encontrar las características de nuestro módulo, llegando hasta los 40 minutos. (Fig. 5.9)

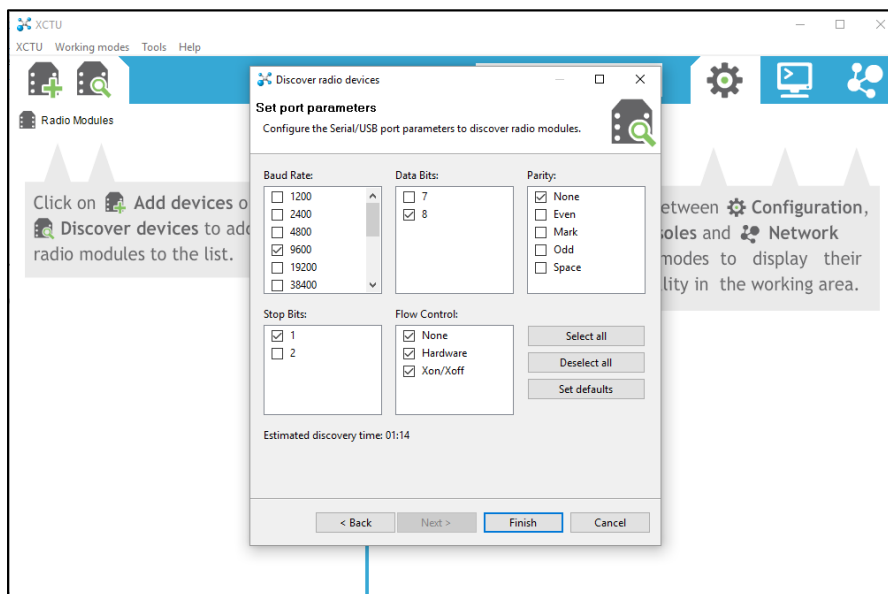


Fig.5.9 Función buscar RFID

4. Una vez encontrado nuestro XBEE, se añadirá a la parte izquierda de la pantalla. En el caso mostrado en la figura, lo hemos configurado como coordinador, seleccionando la pestaña "*Coordinator enable*". Este atributo especifica quien es el emisor y quien el receptor. En este caso, el coordinador es el receptor, y está conectado al ordenador vía USB. Podemos saber que este módulo funciona como coordinador, ya que aparece una C de color rojo sobre el símbolo del XBEE. (Fig. 5.10)

Cabe remarcar que, cada vez que cambiemos uno de los atributos del módulo, aparecerá debajo y a la derecha un triángulo azul.

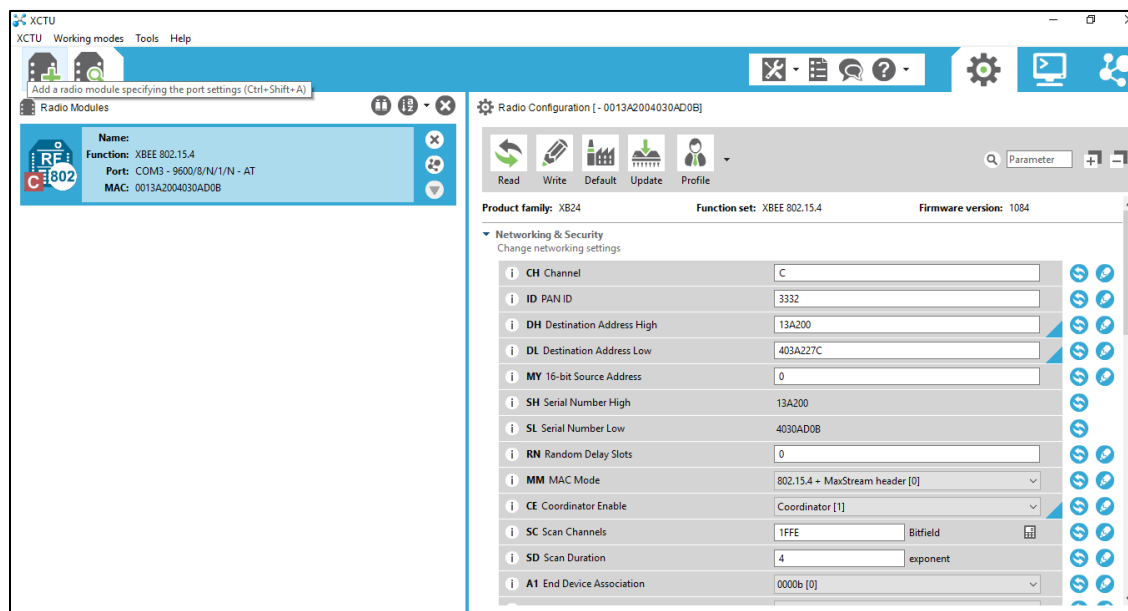


Fig.5.10 XBEE configurado como coordinador.

5. Realizamos el mismo procedimiento para el módulo instalado en el dron. Este actuará como emisor, y por tanto en el “*Coordinator Enable*”, seleccionamos *End Device*. (Fig. 5.11)

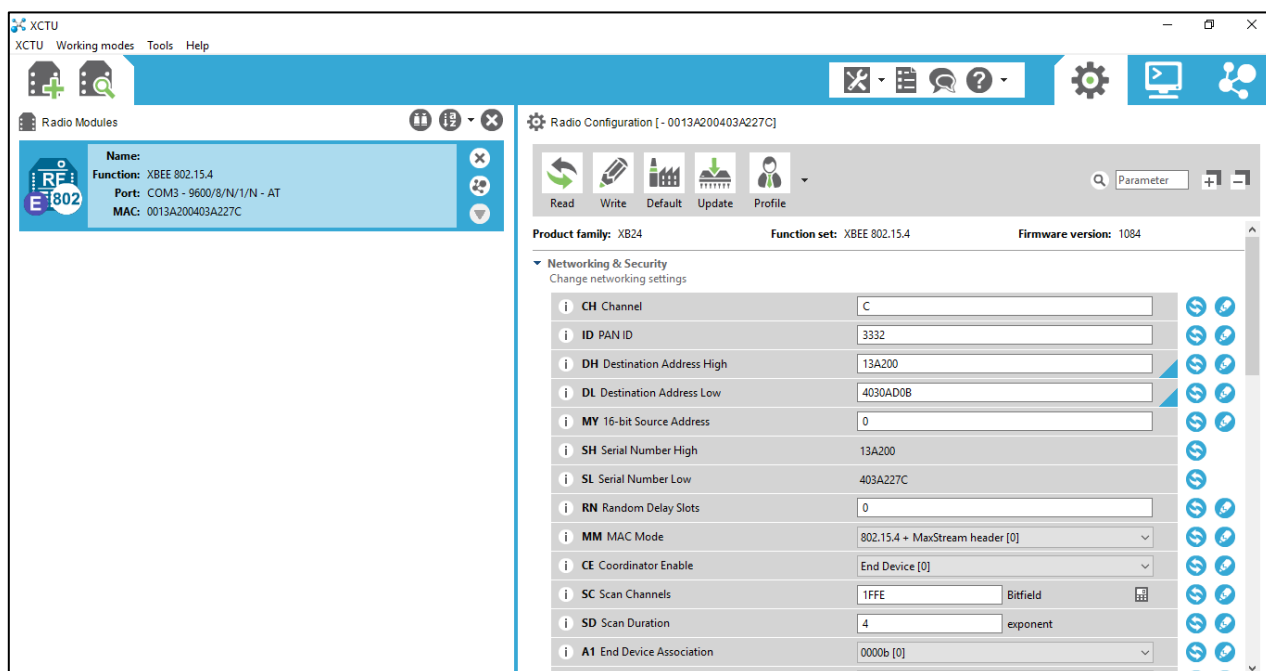


Fig.5.11 XBEE configurado emisor (*End Device*)

Con el objetivo de comunicar emisor con receptor, es decir, el XBEE situado en el dron con el que se instala en la plataforma de recogida de datos, seguimos los siguientes pasos:

1. Se abre de nuevo una página de XCTU y se visualizan las dos configuraciones a la vez.
2. Se copian los valores del SH (Serial Number High) y del SL (Serial Number Low) de uno de ellos en las casillas DH (Destination Address High) y del DL (Destination Address Low) del otro, respectivamente.
3. Se repite el paso 2, esta vez a la inversa.

Mediante estos pasos, ya tendríamos la configuración básica, que permite la transmisión de datos entre emisor y receptor.

5.1.4. Módulo de recepción

En el módulo de recepción tenemos un Arduino montado con un XBEE-Shield. En este caso, al Arduino le hemos retirado el microcontrolador y solo transmite por USB los datos que recibe del XBEE. Es idéntico al de transmisión, pero configurado para recibir datos y enviarlos a través del puerto serie a la interfaz

5.1.5. Lector RFID 125 kHz

Como lector RFID decidimos escoger un PARALLAX a 125 kHz, de poco peso y baja frecuencia, pero con un alcance menor (Fig. 5.12). A diferencia del segundo sistema, en este caso el lector ya tiene una antena integrada. Es el que usamos en el prototipo, ya que permitía una implementación óptima al ajustarse a las dimensiones del dron. A continuación, detallamos sus características principales: [16] [17]

- Sistema de lectura sencillo de bajo coste.
- Dimensiones: 62.2*82.5*5.57 en milímetros.
- Serial a 2400 baudios.
- Lector a 125 KHz.
- LEDS de control.



Fig. 5.12 Lector RFID

5.1.6. Tarjeta (Tag) RFID

Usamos un tag pasivo (ver descripción tag pasivo) ya que son fáciles de usar, de pequeñas dimensiones y de poco peso (Fig. 5.13). En este caso escogemos un tag pasivo de PARALLAX acorde a nuestra frecuencia de trabajo. Sus características son: [19] [20]

- Dimensiones: 20 milímetros de diámetro por 0,6 milímetros de grosor
- Frecuencia de trabajo: 125 KHz \pm 6KHz

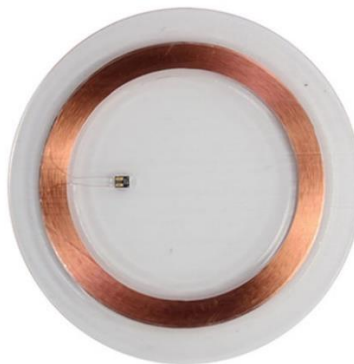


Fig. 5.13 Tag Pasivo

Hay que comprobar que la frecuencia de trabajo es la misma que la de nuestro lector, ya que, en caso contrario, no lo detectaría. Estos tags vienen programados de fábrica con ID propio y son ideales para prototipos y aplicaciones simples.

5.1.7. Dron PARROT DRONE

El Parrot Bebop Drone es un dron comercial (Fig. 5.14). Es importante recalcarlo como contraposición al CRAZYFLIE 2.0 usado en el segundo sistema. Como dron comercial, el Parrot Bebop Drone viene preparado para su uso sin necesidad de montaje, ni de programación, más allá de descargarse una aplicación móvil específica para el sistema operativo que deseemos utilizar. Tan solo necesitamos cargar las baterías y sincronizar el dispositivo con la aplicación móvil para poder utilizarlo de manera inmediata. Esto representa una ventaja importante puesto a que no se necesitan conocimientos de programación.

Decidimos escoger el Parrot Bebop Drone debido a que sus especificaciones técnicas se ajustaban a nuestras necesidades. Necesitamos una plataforma móvil con una autonomía lo suficientemente larga y con una capacidad de carga de entre unos 100 -120 gramos. También deseábamos un sistema de uso sencillo, fácil de encontrar en el mercado y con una buena relación calidad-precio.

Nuestra idea era diseñar un montaje que fuera adaptable a cualquier tipo de dron comercial, sin necesidad de difíciles montajes que implicaran soldaduras o grandes conocimientos en programación.



Fig.5.14 Parrot Bebop Drone

Pasamos a detallar sus características principales: [21] [22]

- Conectividad: Utiliza una red WI-FI para comunicarse tanto a 2.4 GHz como a 5 GHz.
- WI-FI: 802.11 a/b/g/n/ac.

- Antenas: Bibanda MIMO y Dipolo sintonizado a las bandas 2,4 GHz y 5 GHz.
- Potencia de emisión: Hasta 21 dBm
- Alcance teórico: Hasta unos 250 metros.
- Velocidad: 13m/s de velocidad horizontal
- Cámara: Tipo ojo de Pez de 186° y 14 Mpx. Puede grabar a 1920x1080p a 30 fps. Las fotos se pueden hacer en varios formatos dependiendo de la resolución escogida: JPEG, RAW, DNG.
- Batería: Polímeros de Litio de unos 1200 mAh (LiPo). Entre las dos baterías que vienen de fábrica suman unos 22 min de autonomía.
- Sensores: Tiene los 3 sensores básicos como el magnetómetro, el giroscopio o el acelerómetro. Como elementos diferenciales, contiene un sensor de ultrasonidos, un barómetro y una cámara de estabilización.
- GPS: Usa el sistema GNSS y por lo tanto es compatible tanto con GPS como GLONASS.
- Medias:
 - Sin las protecciones: 28x32x3.6 centímetros.
 - Con las protecciones: 33x38x3.6 centímetros.
- Peso:
 - Sin las protecciones: 400 gramos.
 - Con las protecciones: 420 gramos.
- Compatibilidad: Se puede utilizar con cualquier sistema operativo principal, sea IOS, Android o Windows Phone tanto smartphones como en tabletas.

5.2 Sistema RFID a 13,56 MHz

Algunos de los bloques del primer sistema se han utilizado también para este, como son el software de gestión de stocks y el sistema para la comunicación inalámbrica (XBEE). Por tanto, en los siguientes apartados presentaremos solamente aquellos bloques que sean diferentes a los del sistema RFID a 125 KHz.

5.2.1. Micro RWD MF (Mifare) Low Power Version

El módulo Micro RWD MF LP (Low Power) es un lector-escritor OEM (a diferencia de la placa del primer sistema, que era sólo lector) que funciona con tarjetas Mifare a 13,56 MHz, para operaciones a distancia. Esta placa contiene 24 pins, y solamente necesita una antena externa y una corriente continua 5V para ser completamente operativa. Dicho módulo está diseñado a bajo nivel para permitir su tamaño reducido, y, además, al operar a una frecuencia mayor, no es necesario disponer de una antena de gran tamaño, lo cual permite que el módulo sea adecuado al dron. (Fig. 5.15)

El Micro RWD MF LP funciona como cualquier otro lector, pero consume una potencia inferior a $150\mu\text{A}$. Todos los comandos y los datos se pueden visualizar con una interfaz RS232. Adicionalmente, conectaremos a la placa un LED rojo y uno verde. El rojo permanecerá encendido hasta que se lea un tag válido, cuando este se apagará a la vez que se encienda el LED verde. [23]

Nos decantamos por este sistema por su bajo consumo, el hecho de ser escritor-lector y que, al llevar un tiempo en el mercado, tiene una bibliografía extensa que nos sirve de ayuda.

En la Figura 5.16 podemos visualizar la configuración de pins del módulo.

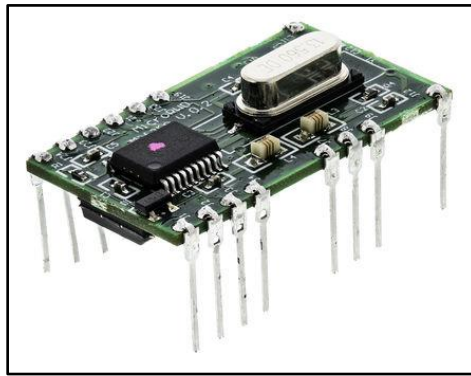


Fig.5.15 Micro RWD MF low power version [23]

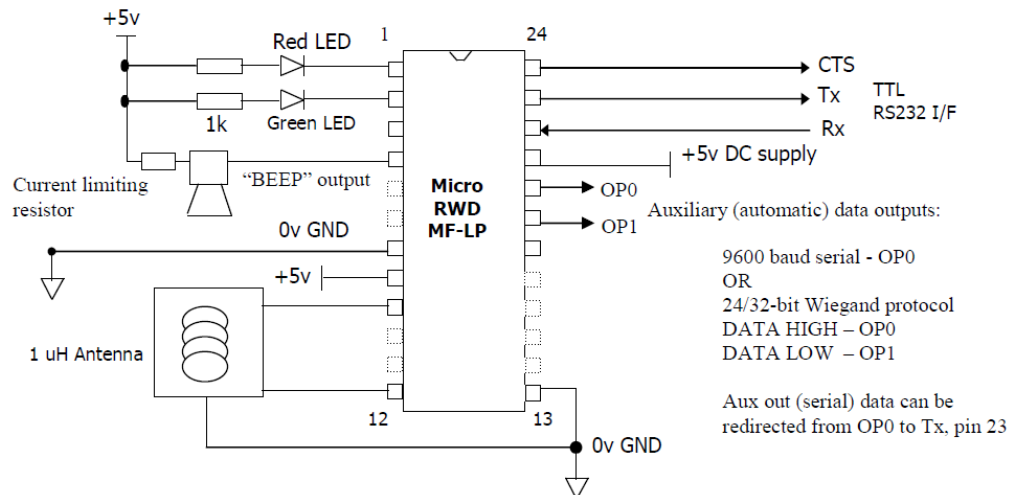


Fig.5.16 Diagrama Micro RWD [23]

5.2.2. MAX202

Es un circuito integrado de MAXIM que eleva las señales RX, TX, CTS y RTS a valores de RS-232. Esto lo consigue mediante el uso de multiplicadores de voltaje con la adicción de condensadores externos. El MAX 202 sirve como interfaz de transmisión y recepción de las señales anteriormente mencionadas. Esto resulta de mucha utilidad ya que permite la implementación de un RS-232 en dispositivos con una alimentación simple de 5V. (Fig. 5.17, 5.18)

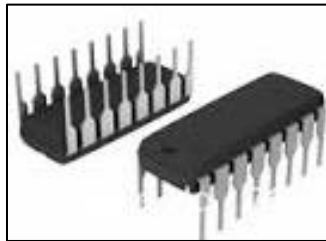


Fig.5.17 Ejemplo de MAX202

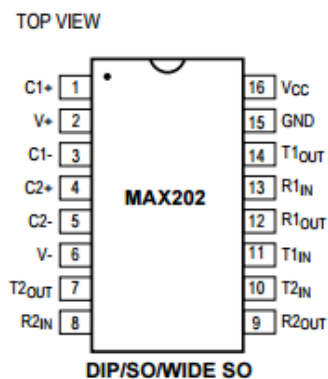


Fig.5.18 Esquema MAX202

5.2.3. Conversor serial-to-USB:

Este dispositivo nos permite conectar un RS-232 a un puerto USB. En este caso, después de elevar la señal con el Max 202, lo conectamos a un adaptador puerto serie, que ira conectada al conversor. (Fig 5.19)



Fig.5.19 Conversor puerto serie a USB

5.2.4. Antena: ANT-1356M

El módulo RFID de este sistema no lleva antena incorporada y, por lo tanto, era necesario adquirir una. En el mercado existen multitud de antenas disponibles, por lo que tenemos que tener en cuenta tres factores a la hora de escoger una: que se apta para la frecuencia de trabajo deseada, que tenga el máximo rango posible y el menor consumo posible.

La antena mide 65 milímetros y tiene 1uH de inductancia con una Q alta con capacitores y resistencias. Está diseñada para resonar a 13,56 MHz con un factor de Q entre 35-40. [24] (Fig. 5.20, 5.21)



Fig.5.20 RFID antena

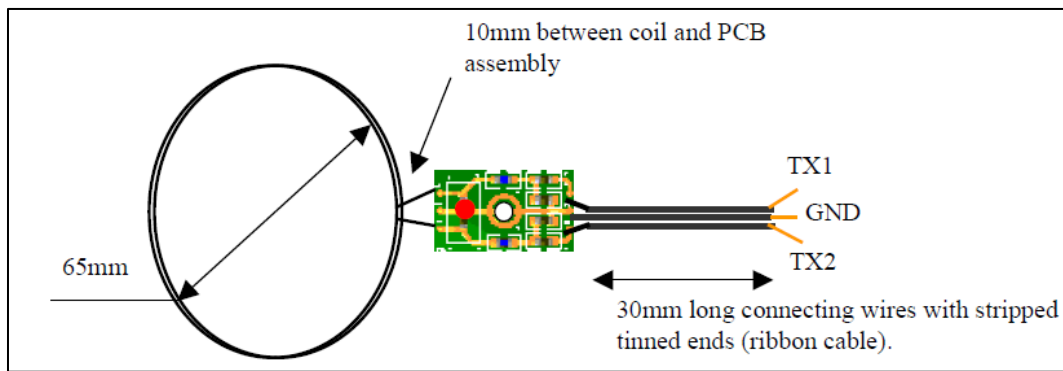


Fig.5.21 Diagrama antena.

5.2.5. Arduino UNO MEGA

El Arduino MEGA 2560 es una placa microcontroladora basada en el ATmega2560. Tiene 54 pines de entradas/salidas digitales, 16 entradas analógicas, 4UARTs, un oscilador a 16 MHz, conexión USB, un Jack y un botón de reseteo. Básicamente, provee todo lo necesario para el soporte al microcontrolador. Es compatible con la mayoría de componentes usados en el Arduino UNO y Duemilanove. (Fig. 5.22)

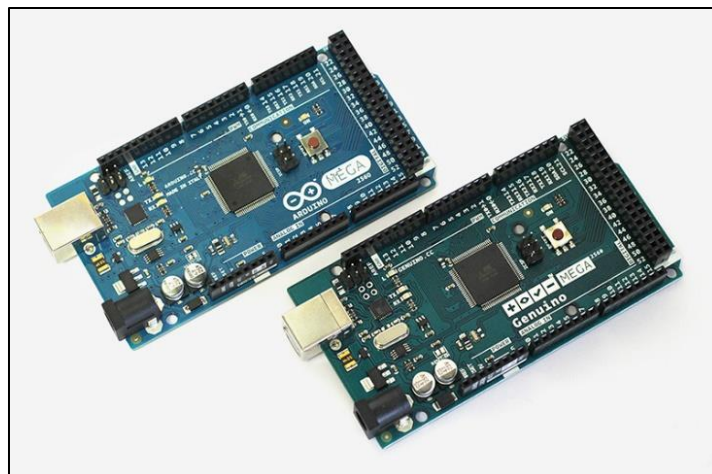


Fig.5.22 Arduino MEGA

5.2.6. Dron: Crazyflie 2.0

En este segundo proyecto hemos utilizado un microdrone CRAZYFLIE de BITCRAZE (Fig. 5.23). En este caso, se trata de un dron de desarrollo, en contraposición al Bebop Drone, que era comercial. Son necesarios conocimientos avanzados de programación, pero ofrece muchas más posibilidades, al poder desarrollarlo para la aplicación que se desee. Además, requiere un montaje previo. Sus dimensiones son mucho menores a las de un dron convencional, cosa que lo hace muy apropiado para espacios reducidos, como pueden ser interiores.



Fig.5.23 Dron Crazyflie

Entre sus especificaciones técnicas encontramos:

- Fácil montaje, sin necesidad de soldaduras.
- Soporta expansiones con detección automática.
- Se conecta con aplicaciones disponibles en iOS y Android, mediante Bluetooth, y también con Windows, Mac y Linux mediante la Crazyradio.
- Capaz de controlarse hasta 1km de distancia, en línea de visión, mediante la Crazyradio PA.
- Actualizaciones mediante WI-FI.
- Carga mediante USB estándar.
- Mediante el uso de la Crazyradio y un ordenador, se pueden ver todos los datos del dron a tiempo real.
- Aspecto:
 - Peso: 27g
 - Medidas 92x92x29mm

- Especificaciones de radio:
 - Amplificador de 20 dBm probado para más de 1km.
 - Disponibilidad de uso de sistema bluetooth para iOS y Android.
- Microcontrolador:
 - Modelo STM32F405 (Cortex-M4, 168MHz, 192kb SRAM, 1Mb flash)
 - Comunicador de radio modelo nRF51822 (Cortex-M0, 32Mhz, 16kb SRAM, 128kb flash)
 - Conector uUSB
 - Cargador LiPo a bordo, con modos disponibles de 100mA, 500mA and 980mA.
- Sensores:
 - Giróscopo, acelerómetro y magnetómetro en tres ejes (MPU-9250)
 - Barómetro de alta precisión (LPS25H)
- Especificaciones de vuelo:
 - Tiempo de vuelo con la batería integrada: 7 minutos.
 - Tiempo de carga de la batería integrada: 40 minutos.
 - Máxima carga recomendada: 15 gramos.
- Controladores:
 - Phyton Windows, Linux, OSX, con controladores de Xbox 360 o PlayStation3.
 - Dispositivo móvil de Android o de iOS.

En cuanto al software del dron Crazyflie, es *open source*, así que se puede modificar libremente para adaptarlo a la función específica que necesitemos. Pese a esta ventaja, también cabe destacar que el *open source* no suele ser muy fiable, y que es fácil cometer errores en el desarrollo. Para poder utilizar este software seguiremos los pasos siguientes:

1. Bitcraze (el fabricante del dron) tiene disponible un Linux customizado en su web listo para descargar. [25]
2. Para poder instalar el Linux necesitaremos, además, un programa que sirva para este propósito. En nuestro caso, hemos utilizado el WMPlayer, que también encontramos en dicha web, o en otras como Softonic.
3. Debemos verificar que disponemos de un espacio de, al menos, 30Gb en el ordenador, que es lo que nos ocupará el software.
4. Posteriormente, ya nos podremos descargar el archivo del software, mediante MEGA o Torrent.
5. Abrimos el software y lo instalamos en el ordenador.

Una vez hayamos instalado la máquina virtual, necesitaremos un programa llamado "Crazyflie Client" que podremos encontrar en la misma Wikipedia mencionada anteriormente [25]. Este programa nos permitirá, mediante la antena USB que acompaña el dron, controlarlo tanto con el teclado como con un mando tipo PlayStation 3 o XBOX360. Cabe destacar que la máquina virtual no es del todo

fiable y normalmente habrá que enchufar y desenchufar la antena varias veces hasta que la detecte. De esto se nos informa previamente en el tutorial de Bitcraze.

La interfaz del Crazyflie Client nos permite observar la mayor parte de la información que envía el dron y además permite un mayor control del mismo gracias al joystick, como se puede observar en Fig.5.25. También nos da la opción de modificar parámetros internos del microdron, hacer gráficos de los diferentes datos y ver niveles de conexión y batería. [26]

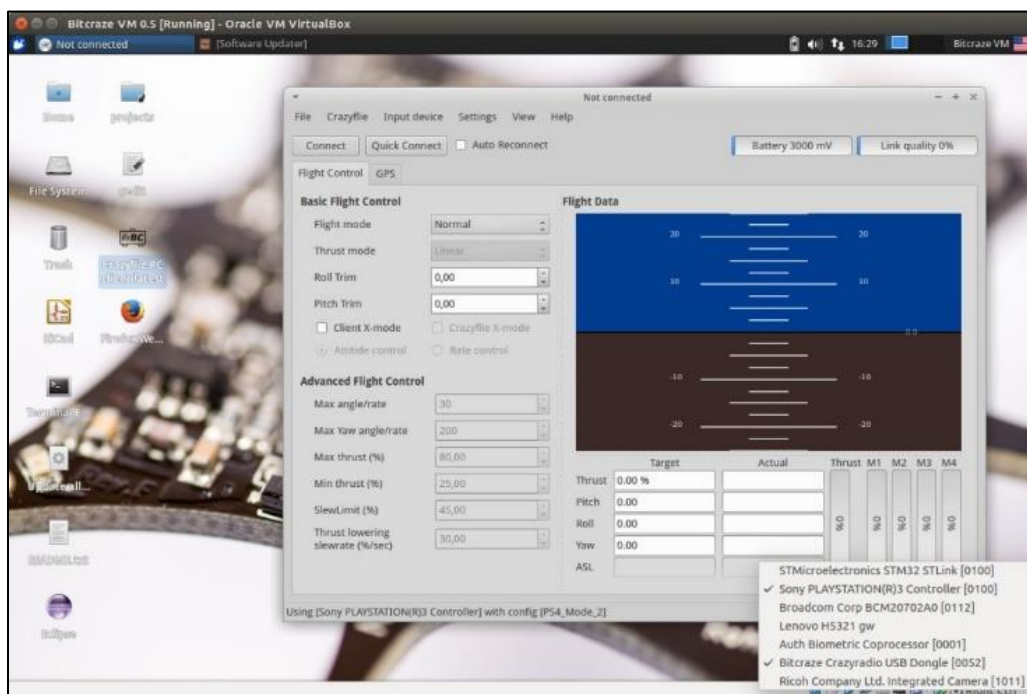


Fig.5.25 Interfaz Crazyflie Client.

Pese a que el Crazyflie Client nos permite obtener un mayor control sobre el dron y disponer de más información de su vuelo, hay algunos parámetros que necesitan un nivel más de programación, lo cual nos hace acceder directamente a su código raíz. Para ello, existe una librería Python proporcionada por Bitcraze que permite activar estabilización y nivel de potencia automáticas. Esta librería esta en constante expansión tanto por Bitcraze como por usuarios anónimos que añaden sus proyectos personales a la base. Mediante este lenguaje vamos a poder controlar múltiples drones a la vez, cambiar el método de intercambio de datos, gestionar los motores uno a uno, entrar planes de vuelo etc. [26]

Tras seguir los pasos nombrados anteriormente, encontramos múltiples problemas a la hora de finalizar este segundo proyecto. El tamaño reducido del dron hace que su carga útil sea mínima, haciendo inviable disponer de una cámara a bordo, cosa de la que sí disponemos con el primer dron. Además, su batería es muy limitada por el mismo motivo. A la hora de instalar un lector RFID sobre este dron, es fundamental buscar en el mercado componentes del menor peso posible, y esta fue la primera consideración que tuvimos a la hora de diseñar nuestro módulo.

Por otra parte, el dron posee una gran dificultad respecto a su software, al ser de código abierto. Este hecho, es, a la vez, su gran ventaja, ya que no existe límite teórico respecto a las funcionalidades que le queramos aplicar. Tan solo existe la limitación de peso para las componentes que necesitamos añadir para desarrollar dicha funcionalidad. [26]

Finalmente, debido a las dificultades encontradas en el desarrollo del dron tanto a nivel software como hardware, y previamente mencionadas, no hemos sido capaces de realizar la demostración experimental de este segundo sistema.

6. Resultados experimentales

6.1. Primer sistema, 125 kHz

Tras entender los conceptos teóricos, hemos procedido con la fase experimental del proyecto. En primer lugar, hemos realizado el montaje del dron junto al módulo lector-transmisor del RFID. Como hemos mencionado anteriormente, en este caso el UAV ya viene preparado para su utilización, y lo único que necesitamos hacer es añadir los siguientes sistemas:

1. Placa Arduino Duemilanove, alimentado con una batería de 9V.
2. Módulo de transmisión provisto de:
 - a. X-BEE Pro
 - b. X-BEE Shield
3. Lector RFID 125 kHz de Parallax.

En las figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4, podemos ver el montaje realizado sobre el dron PARROT, con todos los sistemas nombrados anteriormente, y que ejercerán de lectores RFID y transmisores.

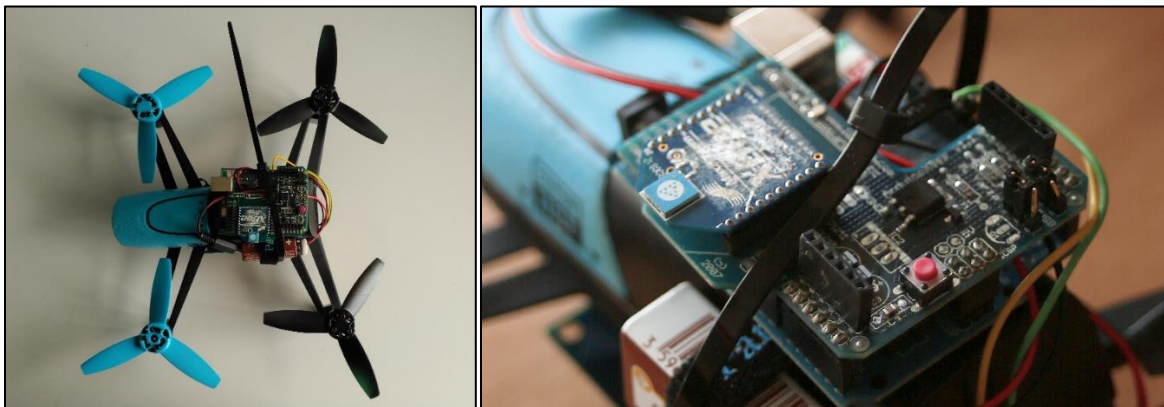


Fig.6.1 Visión de la parte superior del dron

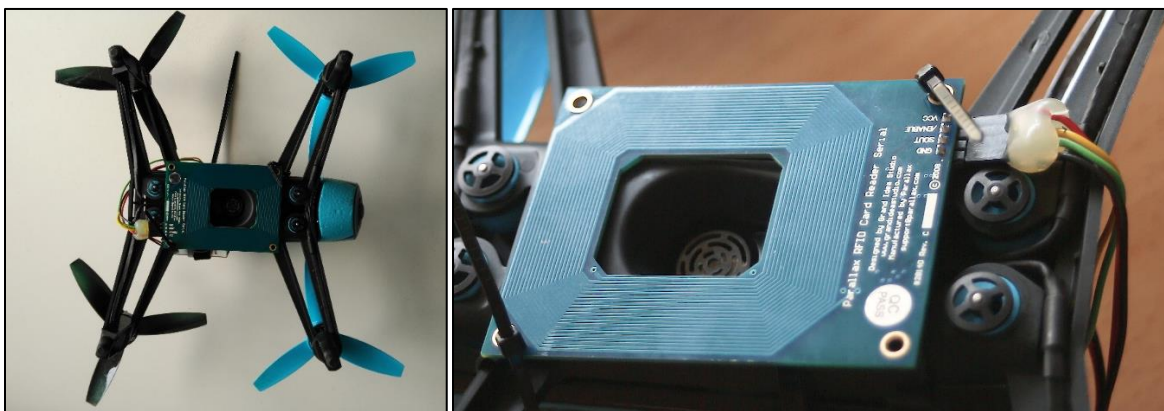


Fig.6.2 Visión de la parte inferior del dron

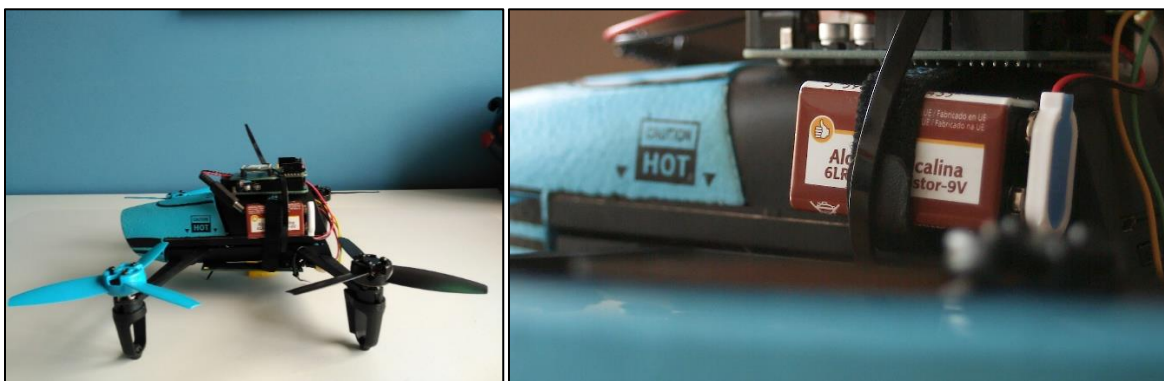


Fig.6.3 Visión lateral del dron

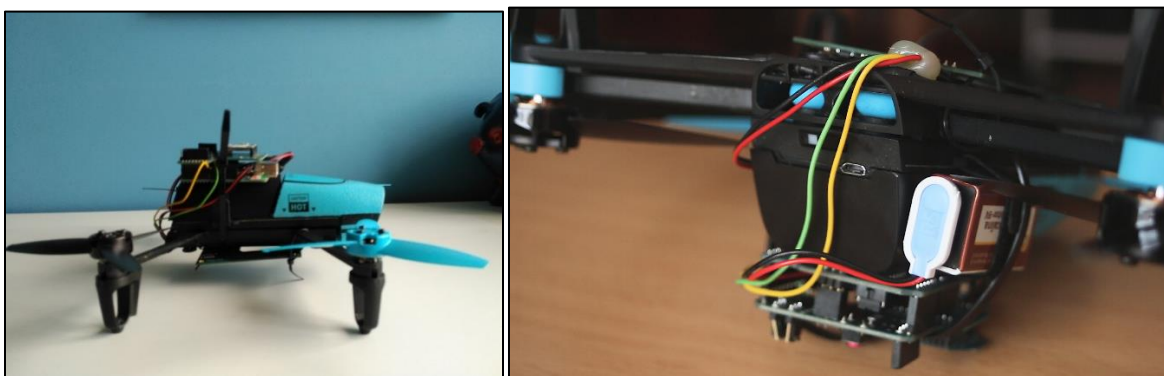


Fig.6.4 Visión lateral y trasera del dron

Tras esto, hemos conectado la placa Arduino configurada como receptora al ordenador, tal y como se puede ver en la Figura 6.5.

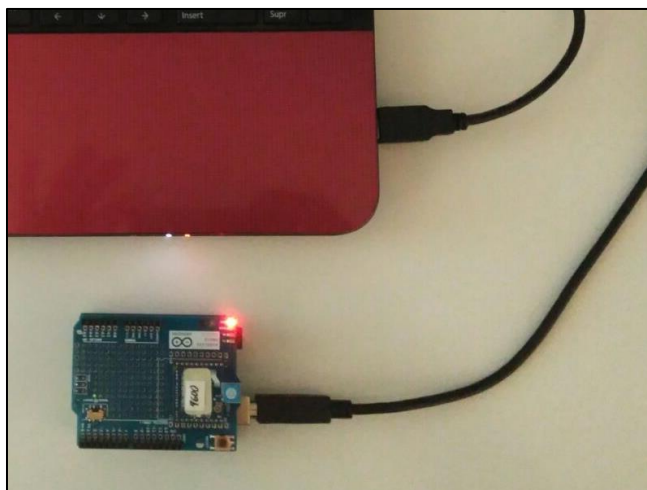


Fig.6.5 Placa Arduino configurada como receptora, conectada al ordenador

Finalmente, hemos realizado las pruebas experimentales, con el objetivo de demostrar su correcto funcionamiento. En la Figura 6.6, vemos el dron volando, con la carga útil que hemos introducido para realizar la lectura del RFID. En la Figura 6.7, observamos como sobrevuela un tag RFID, en concreto que correspondería al Libro 2, y se enciende el LED correspondiente en la interfaz del ordenador. Por último, en la Figura 6.8, vemos qué sucede cuando el dron sobrevuela el tag correspondiente al Libro 5. El LED se enciende, y aparece el código por pantalla.



Fig. 6.6 Dron volando con el lector RFID instalado completamente

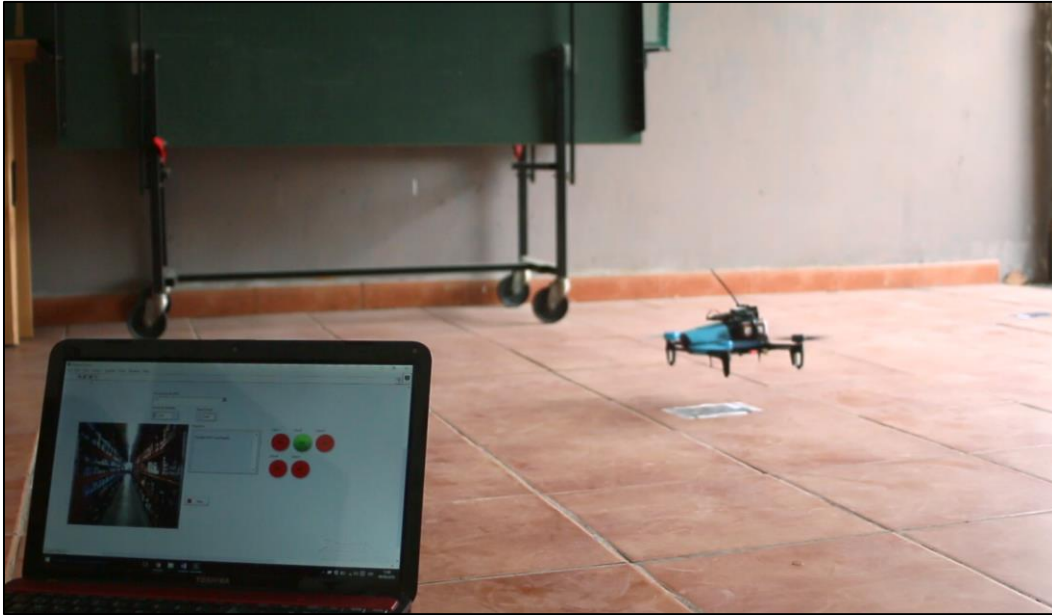


Fig. 6.7 Dron sobrevolando la etiqueta RFID número 2

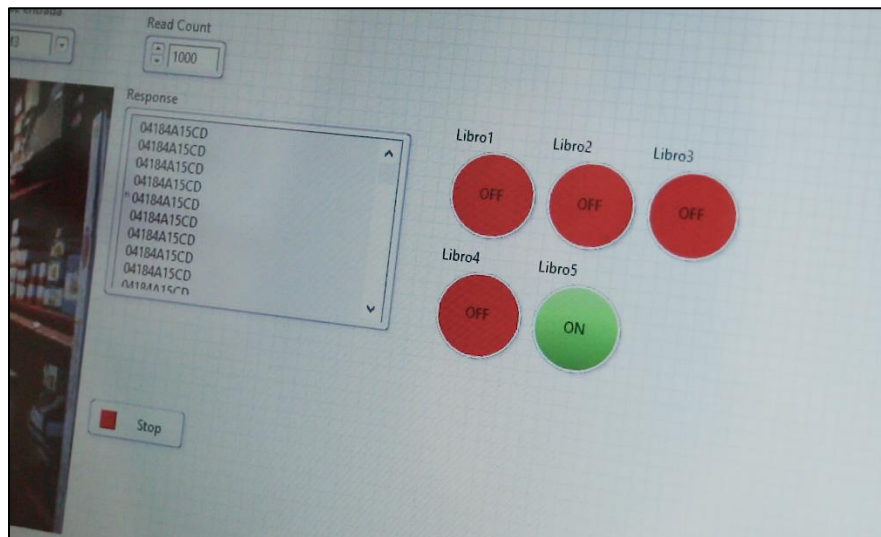


Fig. 6.8 Cambios en la interfaz al sobrevolar el tag número 5

Mediante estas pruebas experimentales hemos logrado demostrar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado.

6.2. Segundo Sistema, 13,56 MHz

Para conectar la placa RFID (Micro RWD) con el MAX202 para elevar la tensión a tipo RS232 y permitir las comunicaciones con el puerto serie, tal y como hemos explicado previamente, deberemos seguir el diagrama descrito en la figura, extraído del datasheet del módulo RFID.

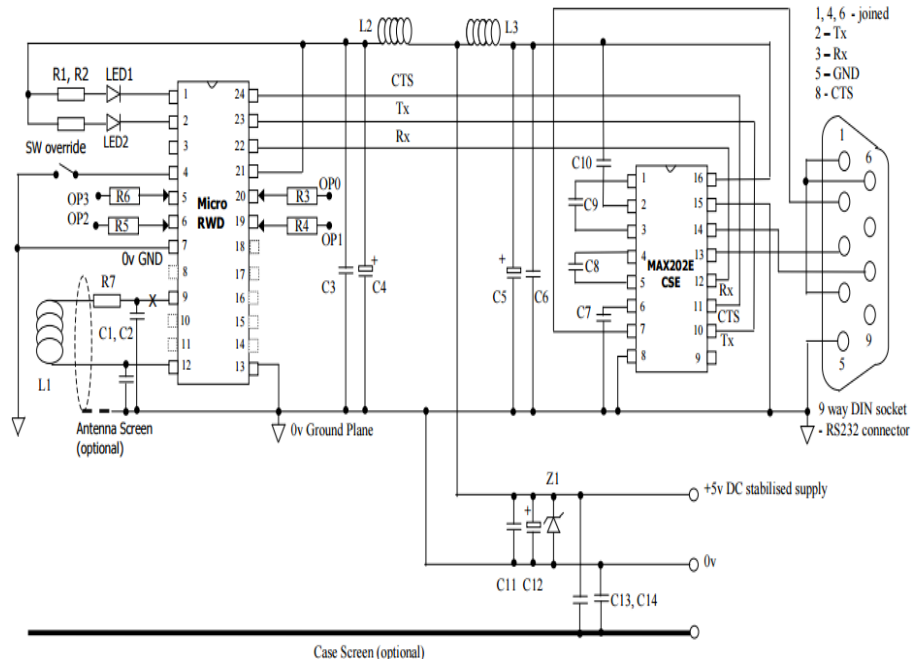


Fig.6.9 Esquema del montaje de la placa RFID [22]

Hemos realizado dicho montaje en una protoboard de diseño, tal y como podemos ver en las figuras. 6.10 y 6.11

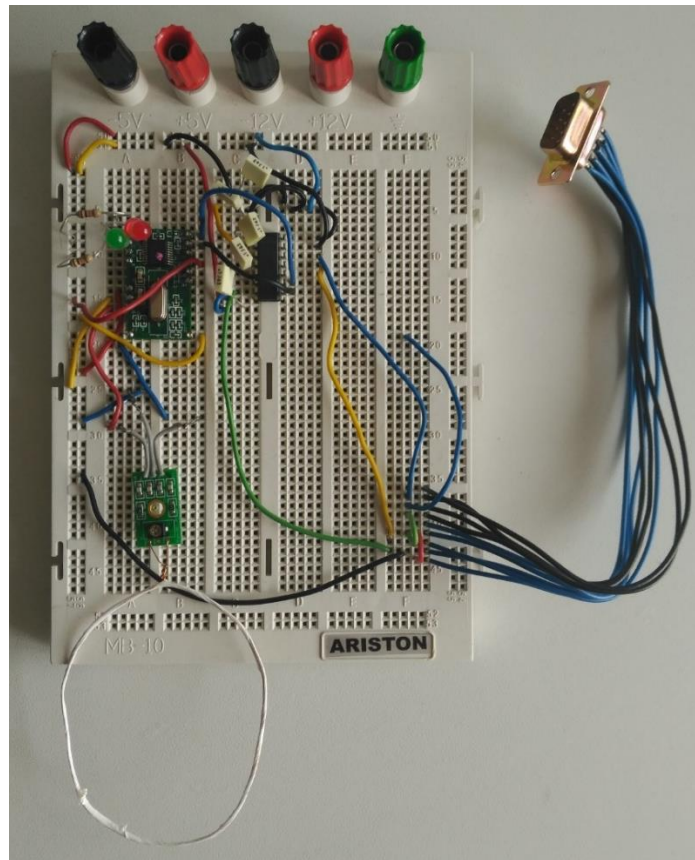


Fig.6.10 Visión superior del montaje de la placa RFID

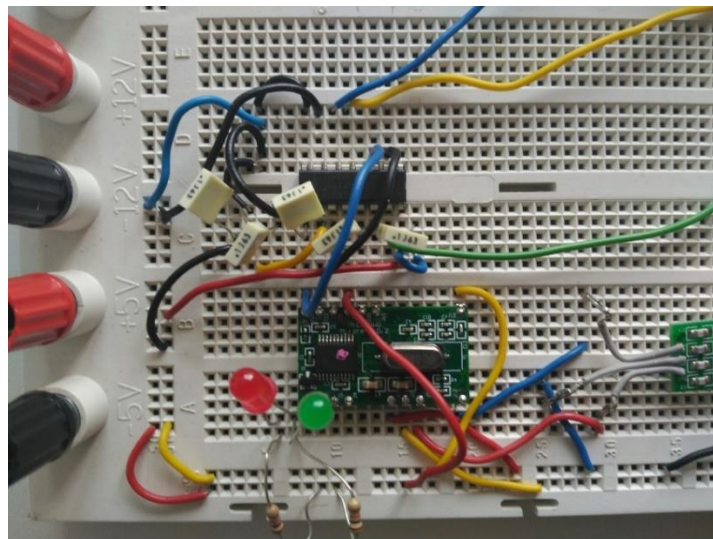


Fig.6.11 Visión superior más detallada del montaje

Debido a los factores nombrados anteriormente, no se realizó el montaje de los componentes del lector RFID en el dron.

7. Conclusiones

En este Proyecto de Fin de Grado hemos desarrollado dos tipos de drones para utilizarlos para la lectura de tarjetas RFID, con el fin de diseñar una aplicación para el control de stocks en grandes almacenes.

Tal y como hemos observado, los drones tienen una gran variabilidad de aplicaciones, para los que deben ser debidamente diseñados. Una de ellas, la cual puede resultar de gran utilidad, es la supervisión y el control en altura, permitiendo sistemas de vigilancia o control de stock. Además, una de las ventajas que nos aportan los drones es que, debido a su variedad de tamaños, estos pueden utilizarse en interiores tanto como en exteriores.

Disponer de vehículos aéreos autónomos que realizan las tareas nombradas anteriormente nos aporta grandes ventajas respecto al uso de personal humano, debido a su rapidez y su gran movilidad. Esta automatización genera ahorro a los empresarios debido a no necesitar dicho personal. Además, en la aplicación para control de stocks, el uso de drones garantiza mayor fiabilidad de los datos, y permite hacer inventarios continuamente, cosa que no es posible sin ellos. Una vez diseñados los drones, no son necesarios grandes conocimientos sobre la industria para utilizarlos, ya que necesitan poca interacción humana, y los costes de mantenimiento son mínimos.

Por otra parte, los sistemas de identificación por radiofrecuencia son de gran utilidad gracias también a su gran variedad de aplicaciones, y al hecho de que existan un gran rango de frecuencias de trabajo, cosa que nos permite adaptar nuestro sistema dependiendo del alcance que necesitemos en la aplicación. Otra de sus ventajas es que los precios de las componentes de RFID son cada vez menores, cosa que nos permite obtener sistemas viables a bajo coste.

Tras un amplio estudio teórico, tanto de los vehículos aéreos no tripulados (drones), como de los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID), hemos desarrollado dos sistemas muy diferenciados: un dron comercial con un lector RFID trabajando a baja frecuencia (125 kHz), y un microdrone de desarrollo a alta frecuencia (13,56 MHz).

En el primer caso, el dron comercial, se adquiere previamente programado para volar, por lo que solamente ha sido necesario introducir los sistemas de lectura RFID y de transmisión de datos, así como el desarrollo software, para lograr realizar las pruebas experimentales. En cambio, en el segundo caso, y debido a la complejidad del software del que disponía el dron, no hemos sido capaces de completar las pruebas experimentales con éxito.

Aparte de la complejidad del software del microdrone de alta frecuencia, también encontramos otras desventajas respecto al dron comercial. Su reducido tamaño,

pese a ser favorable en espacios pequeños, provoca que disponga de baterías de muy corta duración, y de una carga útil disponible mínima. Además, el dron comercial dispone de cámara, cosa que resulta de gran utilidad para nuestra aplicación.

Podemos afirmar que el objetivo inicial del proyecto se ha cumplido para el dron comercial a 125 KHz, al ser capaz de sobrevolar un RFID, detectarlo, leer su código, enviarlo a la estación terrestre. Seguidamente, esta estación lo recibe y muestra en la interfaz del usuario el código leído y el objeto al que corresponde. En cambio, esto no se ha conseguido para el microdrone a 13,56 MHz.

Finalmente, tras haber realizado nuestro proyecto, creemos que el primer sistema diseñado, el cual está en pleno funcionamiento, podría utilizarse en el futuro en control de stocks de alguna empresa interesada, introduciendo algunos cambios, como una interfaz de usuario más compleja, un plan de vuelo determinado para el dron, para no tener que guiarlo manualmente y mejoras en su estabilidad, para evitar errores de lectura. Además, sería conveniente disponer de baterías más duraderas y de un lector que pudiera actuar a una distancia mayor. Pese a ello, creemos que este tipo de sistemas serían muy útiles para la aplicación descrita.

8. Referencias

[1] "Codigo de Barras-Historia ",2012.

<http://www.codigodebarras.pe/codigo-de-barras-historia/>. Consultado 02/2016

[2] Dargan, Gaurav; Johnso/n, Brian; Panchalingam, Mukunthan; Stratis, Chris, "*The Use of Radio Frequency Identification as a Replacement for Traditional Barcoding*", 2004.

<http://web.archive.org/web/20070223111538/http://www.andrew.cmu.edu/user/cjs/tech.html>, Consultado el 25-03-2016.

[3] Junta de Castilla y León," *Tecnología de identificación por radiofrecuencia y sus principales aplicaciones*", 2007.

[4] Mikel Choperena, "*RFID drones, really mobile and completely automated RFID readers*", 26 de noviembre de 2016.

<http://blog.farsens.com/2015/11/26/rfid-drones-really-mobile-and-completely-automated-rfid-readers/>, Consultado 10/02/2016

[5] Bob Violino, Mark Roberti," *The History of RFID Technology*", 16 de Enero de 2005 <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?1338>, Consultado 3/02/2016

[6] Rodigo Corre, Acender,"*Tecnología presente y creciente*", Junio 2015.<http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=1768&edi=90&xit=rfid-tecnologia-presente-y-creciente>, Consultado 15/01//2016

[7] RT," *Drone,historia de un arma de altos vuelos*". Publicado 7 de diciembre de 2012 <https://actualidad.rt.com/actualidad/view/80396-vehiculos-aereos-tripulados-hitos-historicos>, Consultado el 20-01-2016.

[8] Flightech Systems," *UAV FT-ALTEA*".

<http://flightechspanish.weebly.com/uav.html>, Consultado el 09-01-2016.

[9] Mc Tavish J. P., "*Field pattern of a magnetic dipole*". Am. J. Phys. Junio 2000.

[10] Ángel Franco García," *Campo magnético producido por una corriente circular en un punto de su eje*".

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/campo_magnetico/espira/espira.html. Consultado el 28-03-2016

[11] Jorge Alberto Alvarado Sánchez, "*Tesis Doctoral: Sistema de control de acceso con RFID*". Instituto Politécnico Nacional. México DF. Enero 2008.

[12] Klaus Finkenzeller, "*RFID Handbook*", Third Edition,2010.

[13] ISO, "*Ergonomics of human-system interaction—Part 110: dialogue principles*", Publicado 1 de abril de 2006.

http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38009. Consultado el 15-01-2016.

[14] COPADATA, “Interfaz hombre-máquina”.<https://www.copadata.com/es-es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>. Consultado el 15-01-2016.

[15] SEBA, “Características de Arduino Duemilanove USB”, 11 de Julio de 2011. <http://proyectosconarduino.blogspot.com.es/2011/07/caracteristicas-de-arduino-duemilanove.html>, Consultado 14-02-2016.

[16] ARDUINO, “Arduino Duemilanove”.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>, Consultado 15-10-2015

[17] Parallax, “Card Reader-Serial”, 2013. <https://www.parallax.com/product/28140> Consultado 9-09-2015.

[18] Parallax, “**Data sheet** RFID Card Reader”, 2014.
<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28140-28340-RFID-Reader-Documentation-v2.3.pdf>

[19] RS, “Parallax Inc RFID tags”. <http://uk.rs-online.com/web/p/radio-frequency-identification-rfid/8430800/>, Consultado 15-09-2015

[20] Sokymat, “**Data sheet** Clear disk (RFID tag)”. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/13b5/0900766b813b568c.pdf>

[21] Parrot, “Parrot Bebop Drone”, <http://www.parrot.com/es/productos/bebop-drone/> Consultado 15-02-2016

[22] Parrot, “Skycontroller”, <http://www.parrot.com/es/productos/skycontroller/> Consultado 15-02-2016

[23] Ib Technology, “**Data Sheet** Micro RWD Mifare Low Power Version”, 2011.
http://www.ibtechnology.co.uk/pdf/MFprot_LP.PDF

[24] Ib Technology, “**Data Sheet** Micro RWD Mifare Antenna Specification”, 2008.
http://kazus.ru/datasheets/pdf-data/2161236/RFSOLUTIONS/ANTENNA_1356.html

[25] Bitcraze Wiki, “Tutorial: How to set up and install VM in VMWare, Windows 7 and first steps to learn to program the CF2”. 2015.
<https://wiki.bitcraze.io/projects/virtualmachine:tutorials:vmware-win7>

[26] –Miquel Farieman, Eduardo Pablos, Victor Fernandez, Novak Vukmirica, “3-DroProQp1516-Crazyflie”, 2016.